

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Studijní program B2341 - Strojírenství

Strojírenská technologie
zaměření tváření kovů a plastů

Katedra strojírenské technologie
Oddělení tváření kovů a plastů

**Verifikace vzorce pro přepočet tažnosti pomocí statické zkoušky tahem
dle EN ISO 6892-1**

**The formula verification for ductility conversion using the statistic tension
test: EN ISO 6892-1**

Hana Kupilíková
KSP - TP -

Vedoucí diplomové práce: Ing. Michaela Kolnerová, Ph.D. - TU v Liberci

Konzultant diplomové práce: Ing. Jan Sláma - Škoda Auto, a. s.

Rozsah práce a příloh:

Počet stran	51
Počet tabulek	11
Počet příloh	5
Počet obrázků	23

Datum: 27. 5 2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Verifikace vzorce pro přepočet tažnosti pomocí statické zkoušky tahem dle EN ISO 6892-1.

Zásady pro vypracování:

- 1) Seznámení se zkouškou hodnocení tažnosti kovových materiálů dle EN ISO 6892-1.
- 2) Význam hodnocení tažnosti pro určení tvažitelnosti materiálů.
- 3) Převod tažností, zdůvodnění potřeby v hodnocení materiálů.
- 4) Experimentální provedení tahové zkoušky pro dané materiály s různými mechanickými vlastnostmi a zjištění tažností ($A_{50\text{ mm}}$, $A_{80\text{ mm}}$).
- 5) Ze získaných výsledků provést přepočet tažností dle zadaného vzorce.
- 6) Výpočty verifikovat s naměřenými výsledky.
- 7) Závěr.

ANOTACE

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra strojírenské technologie

Oddělení tváření kovů a plastů

Studijní program: B2341 - Strojírenství

Student: Hana Kupilíková

Téma práce: Verifikace vzorce pro přepočet tažnosti pomocí statické zkoušky tahem dle EN ISO 6892-1

The formula verification for ductility conversion using the statistic tension test: EN ISO 6892-1

Číslo BP: KSP-TP-

Vedoucí BP: Ing. Michaela Kolnerová, Ph.D.

Konzultant: Ing. Jan Sláma

Abstrakt:

Práce se zabývá problematikou přepočtu tažnosti $A_{50\text{ mm}}$ na $A_{80\text{ mm}}$ při zkoušení vzorků odebraných přímo z reálných dílů. Klade si za úkol ověřit empiricky odvozený vzorec.

Nejprve se zabývá teorií zkoušky tahem a jejím provedením, poté hodnotí konkrétní materiály a vyhodnocuje naměřené hodnoty.

Abstract:

The thesis covers with problems of ductility conversion for $A_{50\text{ mm}}$ to $A_{80\text{ mm}}$ samples; in compliance with real part materials' samples testing. Its main task consists of empirically derived formula verification.

Firstly, the tension test theory and its implementation need to be discussed, at length definite materials and particular figures are precisely evaluated.

Místopřísežné prohlášení:

Místopřísežně prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, 27. května 2011

.....
Hana Kupilíková
Jilemnického 944
239 01 Mladá Boleslav

Poděkování:

Ráda bych poděkovala všem, kteří mě podporovali a pomáhali při vytváření bakalářské práce.

Jmenovitě paní Ing. Michaela Kolnerové, Ph.D. za vedení a odbornou pomoc, panu Ing. Janu Slámovi za pomoc při realizaci zkoušek a podpoře při vytváření mé práce a panu Ing. Martinu Fridrichovi za pomoc při realizaci zkoušek.

Poděkování směřuji i celé mé rodině a přátelům za podporu a pomoc po celou dobu mého studia.

Obsah:

1. ÚVOD	9
2. ZKOUŠENÍ MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ MATERIÁLU	10
2.1 Mechanické vlastnosti a mechanické charakteristiky.....	10
2.2 Základní mechanické zkoušky	10
2.3 Zkouška tahem	12
2.3.1 Princip zkoušky tahem.....	21
2.3.2 Zkušební těleso	22
2.3.3 Podmínky zkoušení.....	24
2.3.4 Stanovení tažnosti	24
2.3.5 Druhy zkušebních těles používaných u tenkých výrobků: plechy, pásy a ploché výrobky o tloušťce od 0,1 mm do 3 mm	26
3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST.....	29
3.1 Popis použitých materiálů	29
3.2 Příprava vzorků	31
3.3 Experimentální měření	37
3.3.1 Přepočet tažností	37
3.3.2 Mechanické vlastnosti	42
4. DISKUSE VÝSLEDKŮ	45
5. ZÁVĚR	47

Seznam použitých zkratk a symbolů

A	[%]	tažnost
$A_{50\text{ mm}}$	[%]	celková tažnost měřená na délce průtahoměru 50 mm
$A_{80\text{ mm}}$	[%]	celková tažnost měřená na délce průtahoměru 80 mm
A_g	[%]	homogenní tažnost
a_0	[mm]	počáteční tloušťka zkušebního tělesa
b_0	[mm]	počáteční šířka zkušebního tělesa
ε	[-]	poměrná deformace
ε_t	[-]	celková deformace zkušebního tělesa
E	[MPa]	modul pružnosti v tahu
F	[N]	působící síla
F_{max}	[N]	maximální dosažená síla
k	[-]	poměr počáteční měřené délky k druhé odmocnině průřezu
L_0	[mm]	původní měřená délka
L_c	[mm]	zkoušená délka
L_u	[mm]	délka zkušebního tělesa po přetržení
L_0^{50}	[mm]	měřená délka průtahoměru 50 mm
L_0^{80}	[mm]	měřená délka průtahoměru 80 mm
ΔL^{50}	[mm]	prodloužení zkušebního tělesa na délce průtahoměru 50 mm
ΔL^{80}	[mm]	prodloužení zkušebního tělesa na délce průtahoměru 80 mm
ΔL_{hom}^{50}	[mm]	prodloužení zkušebního tělesa před vytvořením krčku na délce průtahoměru 50 mm
ΔL_{hom}^{80}	[mm]	prodloužení zkušebního tělesa před vytvořením krčku na délce průtahoměru 80 mm
ΔL_{nest}^{50}	[mm]	prodloužení zkušebního tělesa při vytvoření krčku na délce průtahoměru 50 mm
ΔL_{nest}^{80}	[mm]	prodloužení zkušebního tělesa při vytvoření krčku na délce průtahoměru 80 mm

R	[MPa]	smluvní napětí
R_e	[MPa]	výrazná mez kluzu
R_{eH}	[MPa]	horní mez kluzu
R_{eL}	[MPa]	dolní mez kluzu
R_f	[MPa]	lomové napětí
R_m	[MPa]	mez pevnosti
$R_{p0,2}$	[MPa]	smluvní mez kluzu
σ	[MPa]	skutečné napětí
S	[mm ²]	okamžitý průřez zkušebního tělesa
S_0	[mm ²]	původní průřez zkušebního tělesa
S_u	[mm ²]	průřez zkušebního tělesa v místě lomu
Z	[%]	kontrakce

1. ÚVOD

Současná karoserie je z převážné části tvořena plechy. Vzhledem k neustále se zvyšujícím nárokům na bezpečnost vozu, je důležité měřit mechanické vlastnosti materiálu na reálných výliscích. Pro tahovou zkoušku dovoluje norma ČSN EN ISO 6892-1 dva rozměry zkušebních vzorků $A_{50\text{ mm}}$ a $A_{80\text{ mm}}$. Výrobci plechů mají možnost provádět zkoušky materiálů v potřebném rozměru $A_{80\text{ mm}}$. Výrobci automobilů však vzhledem k velikosti jednotlivých dílů karoserie tuto možnost mít nemusí a mohou být nuceni použít velikost zkušebního vzorku pro $A_{50\text{ mm}}$. Zde dochází k situaci, kterou má tato práce pomoci vyřešit. V normách pro materiály plechu se totiž většinou udává velikost tažnosti $A_{80\text{ mm}}$. Proto je nutné stanovit postup přepočtu $A_{50\text{ mm}}$ na $A_{80\text{ mm}}$ tak, aby bylo možno naměřené hodnoty porovnat s normou.

Cílem bakalářské práce je ověřit platnost vzorce pro přepočet tažnosti. V teoretické části je popsán a zdůvodněn význam hodnocení tažnosti pro určení tvařitelnosti materiálů. V experimentální části je provedena zkouška hodnocení tažnosti materiálů pomocí statické zkoušky tahem dle ČSN EN ISO 6892-1. Pro vybrané materiály jednotlivých skupin, kterými jsou vysokopevnostní BTR165, dále pevnostní materiál Dogal 1000 DPX, materiál s vyšší pevností HX420LAD + Z100MB a hlubokotažný materiál DX54D + Z100MB, jsou výsledky měření ověřeny dle zadaného empiricky odvozeného vzorce a je potvrzena či vyvrácena jeho platnost pro přepočet tažnosti z $A_{50\text{ mm}}$ na $A_{80\text{ mm}}$. Získané výsledky, pokud dojde ke shodě, budou přínosem pro praxi, neboť výrobci materiálů udávají v materiálových listech různé hodnoty tažnosti a možnost přepočtu tažnosti by tak usnadnila zpracovatelům plechu vstupní údaje materiálů při jejich návrhu do výroby.

2. ZKOUŠENÍ MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ MATERIÁLU

2.1 Mechanické vlastnosti a mechanické charakteristiky

Výběr materiálu pro výrobu různých součástí i stavbu konstrukcí je založen na znalosti mechanických, technologických, fyzikálních i chemických vlastností materiálu. První krok výběru materiálu spočívá v rozboru těch vlastností, které jsou pro daný účel nejdůležitější. Po jejich zjištění můžeme vybrat nejvhodnější materiál. Pro vlastní výběr materiálu však potřebujeme vyjádřit požadované vlastnosti číselně. Vyjádření vlastností materiálu číselnými hodnotami, materiálovými charakteristikami, je úkolem oboru, který se nazývá zkoušení materiálu. Materiálová charakteristika je číselná hodnota, která kvantifikuje určitou vlastnost a která se určuje experimentálně.

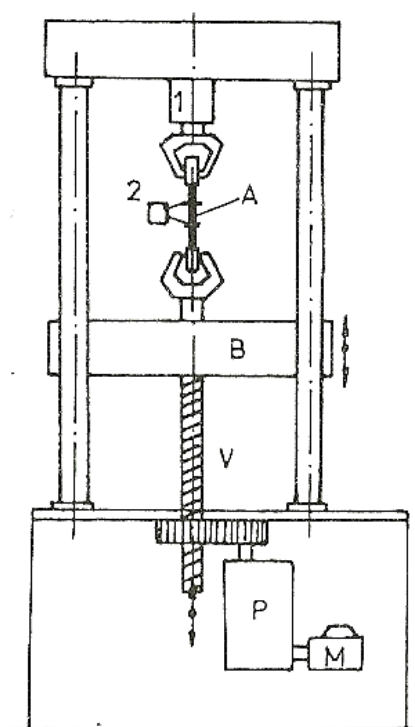
Jako mechanické vlastnosti materiálu se uvádí pružnost, plasticita, pevnost a houževnatost, odolnost proti únavě. Mechanických charakteristik je mnohem víc. Důvod, proč počet vlastností a charakteristik není stejný, spočívá v experimentální povaze mechanických charakteristik. Pro experimentální určení libovolné mechanické charakteristiky musíme z daného materiálu vyrobit zkušební těleso a zkoušet vliv vnější síly (zatížení) na toto těleso. Proto mechanické charakteristiky nejsou absolutní konstanty daného materiálu, ale jsou to veličiny, které do jisté míry závisí na podmínkách zkoušky.

2.2 Základní mechanické zkoušky

Zkušební zařízení

K základnímu vybavení laboratoře mechanických zkoušek patří univerzální zkušební stroj, na kterém se provádí zkoušky tahem, tlakem a zkouška ohybem.

Se sériovou výrobou zkušebních strojů se začalo na konci minulého století. Princip stroje zůstal zachován do dnešní doby (obr. 1). Stroj tvoří pevný rám, v jehož horní části je umístěn dynamometr 1 - zařízení pro měření síly. Zkušební těleso A je jedním koncem uchyceno k dynamometru a druhým koncem k pohyblivému příčníku B. Příčník je uváděn do pohybu motorem M, přes vřeteno V a převodovou skříň P. Při pohybu příčníku dochází k postupnému zatěžování a deformaci zkušebního tělesa. Deformace tělesa je registrována průtahoměrem 2, popř. odečtena z dráhy příčníku. Vhodnou úpravou uchycení zkušebního tělesa a průtahoměru se na tomto stroji provádí i ostatní mechanické zkoušky.



Obr. 1: Schéma univerzálního zkušebního stroje

Pohon zkušebních strojů může být mechanický, nebo hydraulický (stroje pro zatížení větší než 250kN). Mechanické stroje byly původně vybaveny dynamometry, které měřily sílu na principu mechanické váhy. U hydraulických strojů se síla snímala z hydrostatického tlaku oleje v pracovním válci.

Deformace se měřila při desetinásobném zvětšení pohybu příčnicku. Měření malých deformací (citlivost 1 μm až 0,1 μm) stejně tak i přesné měření síly umožnil až rozvoj elektroniky v padesátých letech, vznikají tzv. elektronické zkušební stroje.

V šedesátých letech byl vyvinut servohydraulický zkušební stroj, který umožňuje během zkoušky regulovat časový průběh jedné ze tří snímaných veličin - pohyb příčnicku, prodloužení zkušebního tělesa, případně sílu. V současné době je takovýto způsob řízení chodu zkušebního stroje běžný i u mechanických zkušebních strojů řízených počítačem. [1]

2.3 Zkouška tahem

Je nejrozšířenější normalizovanou statickou zkouškou. Je nutná téměř u všech technických materiálů, protože jí získáme některé základní hodnoty potřebné pro výpočet konstrukčních prvků a volbu vhodného materiálu. Zkoušky tahem se zpravidla nedělají přímo na vyrobené součásti, ale na zkušebních tyčích, jejichž tvary a rozměry jsou normalizovány.

Zkouškou tahem zjišťujeme pevnost v tahu, poměrné prodloužení, tažnost a kontrakci (zúžení) zkoušeného materiálu.

Pevnost v tahu (mez pevnosti v tahu) R_m je smluvní hodnota napětí daného podílem největší zatěžující síly, F_{max} , kterou snese zkušební tyč, a počátečního průřezu zkušební tyče, S_0 .

Poměrné prodloužení ε je dáno poměrem změny délky ΔL k počáteční délce zkušební tyče L_0 .

Tažnost A je poměrné prodloužení vyjádřené v procentech počáteční délky. [2]

Plastické materiály mají deformaci po roztržení rozloženou nerovnoměrně. Největší nerovnoměrnost je v oblasti lokálního zúžení, kde při zužování průřezu nastává současné místní prodlužování. [3]

Tažnost materiálů, u kterých se při tahové zkoušce vytváří krček, závisí na poměru délky a průřezu zkušební tyče.

Kontrakce (zúžení) Z je poměr rozdílu počáteční plochy S_0 a nejmenší plochy příčného průřezu zkušební tyče po přetržení S_u k počáteční ploše průřezu. [2]

Průběh zkoušky

Zkušební těleso (jednoduchého tvaru nejčastěji kruhového nebo obdélníkového průřezu) uchytíme do čelistí zkušebního stroje a na těleso nasadíme průtahoměr. Během zkoušky se zaznamenává závislost působící síly F (zatížení - snímané dynamometrem) na prodloužení zkušební tyče (snímané průtahoměrem, případně určení z pohybu příčnicku zkušebního stroje).

Smluvní diagram napětí - deformace

Závislosti síla - prodloužení získané na zkušebních tělesech různých velikostí, zhotovených z jednoho materiálu, je možné přepočítat na jedinou závislost smluvní napětí - poměrná deformace podle vztahů (1) a (2):

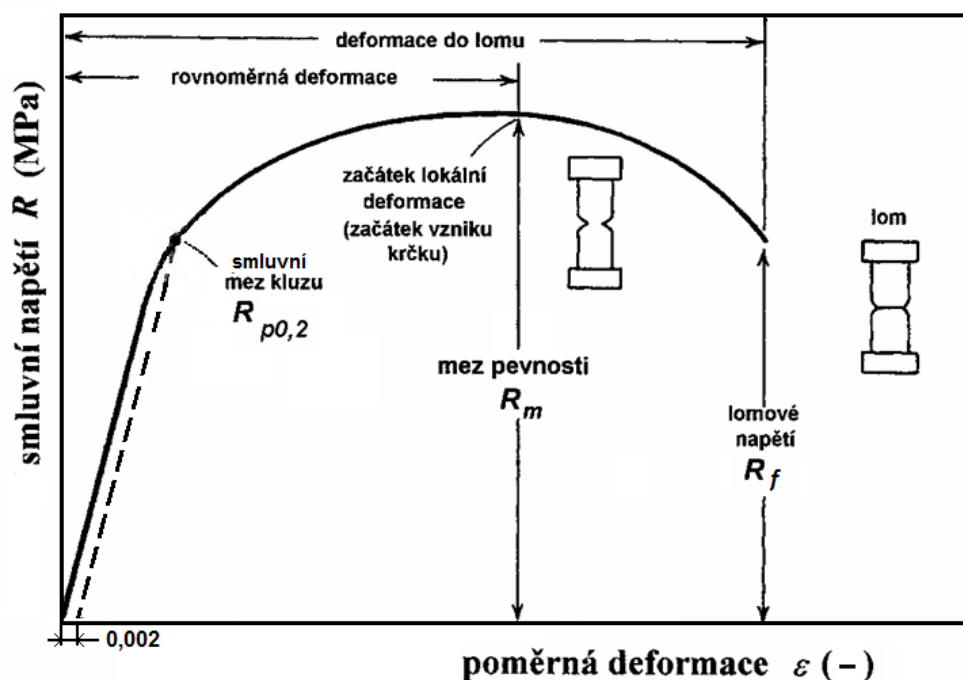
$$R = \frac{F}{S_0} \quad [MPa] \quad (1)$$

a

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L_u - L_0}{L_0} \quad [-], \quad (2)$$

kde S_0 je původní průřez zkušebního tělesa, L_0 je původní délka zkušebního tělesa (výraz $(L_u - L_0)$ vyjadřuje přírůstek délky L_0 , a proto se často označuje ΔL).

Smluvní diagram je schematicky uveden na obr. 2.



Obr. 2: Smluvní diagram napětí - deformace [4]

Počáteční úsek diagramu je přímkový a odpovídá elastické deformaci. V případě, že prodloužení bylo snímáno snímačem umístěným na zkušební tělese, pak je tato přímka popsána Hookeovým zákonem, kde E je modul pružnosti v tahu materiálu zkušební tyče. Pro spolehlivý výpočet modulu E je nutné, aby zvětšení snímače bylo (500 - 1000) násobné. Je-li prodloužení zkušební tělesa odvozeno pouze z posuvu příčnicku zkušebního stroje, potom sklon počátečního úseku tahového diagramu zahrnuje vedle elastické deformace zkušební tělesa i elastické deformace zkušebního stroje (rám stroje, dynamometr, čelisti). Elastická deformace zkušebního stroje je zpravidla řádově větší ve srovnání s elastickou deformací zkušební tyče. Proto z takového záznamu nelze modul E vyhodnotit.

V další části diagramu napětí - deformace (obr. 2) dochází k odklonu od přímkové závislosti (v důsledku vzniku plastické deformace), přírůstek napětí v závislosti na deformaci (deformační zpevnění) postupně klesá až na nulovou hodnotu. Až do tohoto okamžiku se měrná část zkušební tyče deformuje rovnoměrně (dochází k rovnoměrnému zužování průřezu). Další deformace je provázána poklesem napětí a vznikem krčku na měrné části zkušební tělesa. V praxi se na základě průběhu závislosti smluvní napětí - poměrná deformace vyhodnocují dvě napětíové materiálové charakteristiky, smluvní mez pevnosti a mez kluzu.

Určení smluvní meze pevnosti

Mez pevnosti R_m je maximální napětí dosažené ve smluvním diagramu napětí - deformace, což je poměr hodnot maximální síly F_{max} dosažené při zkoušce a původního průřezu zkušební tělesa S_0 (3).

$$R_m = \frac{F_{max}}{S_0} \quad [MPa] \quad (3)$$

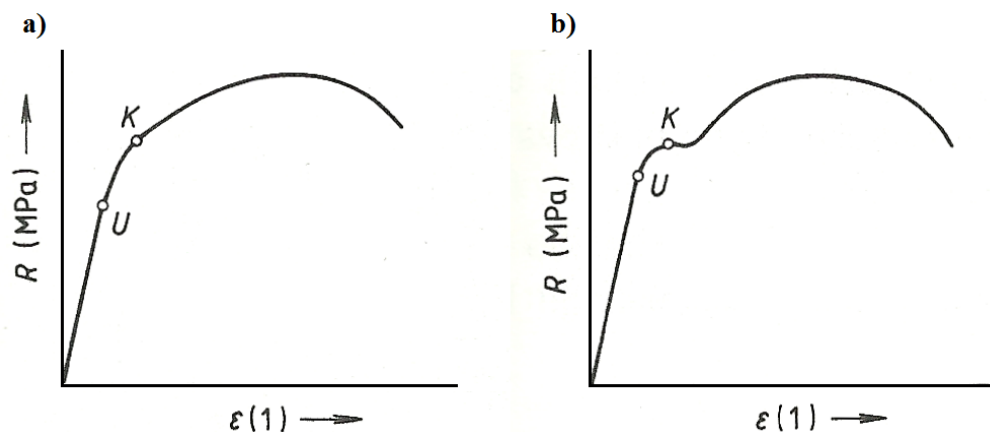
K lomu tělesa (obr. 2) dojde při smluvním napětí R_f (lomové napětí) až po vzniku krčku. V případě, že k porušení zkušební tělesa dojde po malé nebo nulové plastické deformaci, pak hodnota R_m odpovídá napětí v okamžiku lomu R_f , což je lomové napětí.

Pro výpočty součástí mnoho let tvořila základ smluvní mez pevnosti vhodně redukovaná faktorem bezpečnosti. Současný trend výpočtu konstrukcí používá mnohem racionálnější přístup v případě tvárných materiálů, a to je přístup na základě druhé, výše zmíněné napěťové charakteristiky - meze kluzu. Smluvní mez pevnosti však i nadále zůstává v materiálových listech. Pro určení R_m je možné použít i jednodušší zkušební stroje, které nejsou vybaveny snímači prodloužení zkušební tělesa.

Mez kluzu - nevýrazná

Mez kluzu je napětí, při němž začíná vznikat plastická deformace. Mez kluzu může být dle materiálu výrazná a nevýrazná. Méně pevné materiály mají většinou výraznou mez kluzu, pevnější a hlubokotažné materiály nevýraznou (obr. 3). Podle obr. 2 bychom měli považovat za mez kluzu napětí, při kterém dochází k odklonu diagramu od přímky. Takto zjištěná hodnota meze kluzu by však byla závislá na citlivosti snímače prodloužení. Proto se zavádí smluvní mez kluzu $R_{p0,2}$, což je napětí, které vyvolá plastickou (trvalou) deformaci o velikosti $\varepsilon_p=0,002$ (0,2 %). I v tomto případě je nutné při měření tahového diagramu použít snímače prodloužení. Ve srovnání s měřením modulu pružnosti E však zvětšení snímače může být o řád menší (50 - 100 násobné). Ze záznamu napětí - deformace hodnotu meze kluzu $R_{p0,2}$ určíme následujícím postupem. Na ose poměrných deformací vyznačíme hodnotu

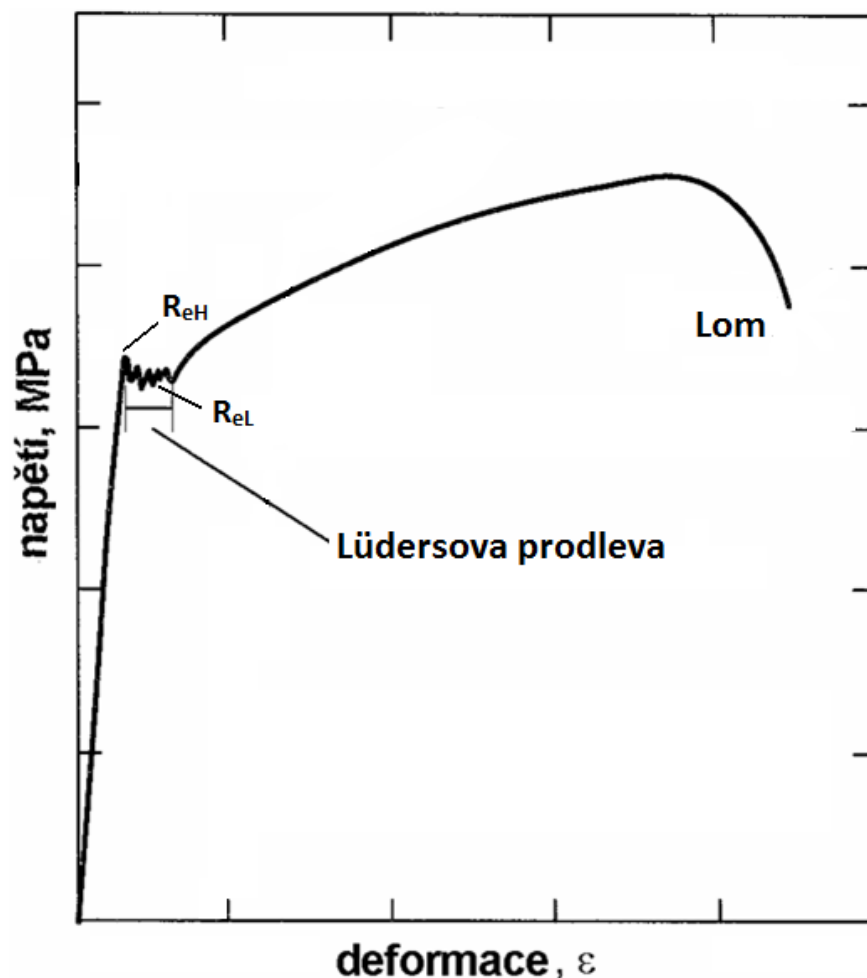
deformace 0,2 %. Tímto bodem vedeme rovnoběžku s přímkovou částí tahového diagramu (obr. 2). Bod, kde protíná rovnoběžka závislost napětí - deformace je napětí smluvní meze kluzu $R_{p0,2}$. Zde si musíme uvědomit, že celková deformace ε_t zkušební tělesa při napětí $R_{p0,2}$ je dána součtem deformace elastické a deformace plastické $\varepsilon_p = 0,002$.



Obr. 3: a) diagram bez výrazné meze kluzu, b) s výraznou mezí kluzu
kde U je bod, ve kterém je prodloužení ještě přímo úměrné napětí a K je bod, v němž se zkušební tyč začne výrazně deformovat, aniž by se zvyšovala zatěžující síla. [2]

Mez kluzu - výrazná

Dále existují materiály např. hlubokotažné oceli nebo slitiny, u nichž jsou dislokace uchyceny. Pro počáteční pohyb, příp. vznik nových dislokací, je třeba mnohem větší napětí ve srovnání s napětím pro pohyb dislokací. Uvolnění a vznik nových dislokací se v diagramu napětí - deformace projeví výraznou nespojitostí v oblasti přechodu z elastické do elasticko - plastické deformace. Napětí, jež odpovídá nespojitosti v diagramu, se označuje pojmem výrazná mez kluzu R_e . V případě měření meze kluzu R_e již není nutné používat snímače prodloužení, ale zcela postačuje záznam síla - čas, případně síla - posun příčnicku. U nízkouhlíkové vyžíhané oceli je uchycení dislokací velice silné (je způsobeno atomy uhlíku příp. dusíku) a proces vzniku plastické deformace je proto výrazně heterogenní. Vznik plastické deformace se u těchto ocelí projeví charakteristickým tvarem tahového diagramu (obr. 4) právě v oblasti meze kluzu.



Obr. 4: Tvar tahového diagramu typický pro nízkouhlíkovou ocel [4]

Na konci přímkové části diagramu napětí - deformace dochází k výraznému poklesu napětí, který je spojen s rozšířením plastické deformace v úzkém pásu přes celý nosný průřez zkušební tyče. Tento bod je v diagramu označován symbolem R_{eH} a nazývá se horní mez kluzu.

Z hodnoty napětí R_{eH} dochází k poklesu na hodnotu R_{eL} (dolní mez kluzu). Při napětí dolní meze kluzu se skluzové pásy postupně rozšiřují přes celou měrnou délku zkušebního tělesa. Velikost deformace, po kterou zůstává napětí konstantní, se v literatuře označuje často pojmem Lüdersova prodleva. Tato heterogenita při vzniku plastické deformace je nežádoucí např. při lisování plechů, protože skluzové pásy na povrchu vylisků jsou viditelné a kazí vzhled výrobku.

Určování deformačních charakteristik

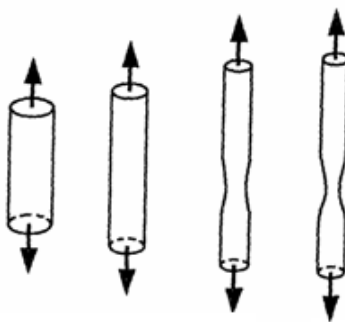
Vedle uvedených dvou napěťových charakteristik meze pevnosti a meze kluzu, které určujeme ze záznamu síla - prodloužení zkušební tělesa, jsou v materiálových listech ještě další dvě charakteristiky A a Z , které určujeme pouze na základě rozměrů zkušební tyče před a po zkoušce. Jedná se o deformační charakteristiky tažnost A [%] (4) a zúžení Z [%] (5). Před zkouškou na rovnoměrné části zkušební tyče vyznačíme ryskami vzdálenost L_0 . Po přetržení obě části tyče přiložíme lomovými plochami těsně k sobě a změříme vzdálenost rysek L_u a průřez tyče S_u v místě lomu. Deformační charakteristiky vypočteme ze vztahů:

$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} * 100 \quad [\%] \quad (4)$$

$$Z = \frac{S_0 - S_u}{S_0} * 100 \quad [\%] \quad (5)$$

Měření hodnot A i Z provádíme na přetržených, tj. nezatížených zkušebních tělesech, a proto tyto materiálové charakteristiky souvisí pouze s plastickou deformací zkoušeného materiálu.

V případě tvárných materiálů, u nichž dochází před lomem ke vzniku krčku, je deformace podél měřené délky nerovnoměrná (obr. 5).



Obr. 5: Schéma vzniku krčku [2]

K největšímu prodloužení dochází v oblasti krčku. Tvar krčku závisí jen na průřezu zkušební tyče. Je tedy zřejmé, že výsledná hodnota A bude tím větší, čím menší zvolíme počáteční délku L_0 .

Je-li materiálovou normou předepsána tažnost A , pak ke zkoušce musí být použita zkušební tyč určitého tvaru. V normě je použit termín „poměrná zkušební tyč“ a rozumíme tím tyč, pro kterou je jednoznačně dán poměr k počáteční měřené délky L_0 k druhé odmocnině průřezu S_0 .

Doporučené hodnoty k (6) jsou 5,65 a 11,6; tyto hodnoty odpovídají dříve používaným termínům pro zkušební tyče kruhového průřezu - krátká zkušební tyč ($L_0 = 5d_0$, $k = 5,65$), dlouhá zkušební tyč ($L_0 = 10d_0$, $k = 11,3$). Při použití zkušební tyče, u které $k = 5,65$ se tažnost A zpravidla označuje bez přídatného symbolu a je tomu tak u ocelí.

$$k = \frac{L_0}{\sqrt{S_0}} \quad (6)$$

Deformační charakteristiky, které kvantifikují plasticitu materiálu, jsou důležité ze tří hledisek:

- Vyjadřují rozsah plastické deformace, kterou materiál snese bez porušení, což je důležité pro řadu technologických operací válcování, tažení, lisování ap.
- Vyjadřují schopnost materiálu se plasticky deformovat před porušením. Vysoké hodnoty deformačních charakteristik zaručují jistou toleranci a schopnost materiálu se lokálně deformovat bez porušení, což má význam při výpočtu provozních napětí konstruktérem.
- Slouží jako indikátor změn v čistotě materiálu. [1]

Diagram skutečné napětí - skutečná deformace

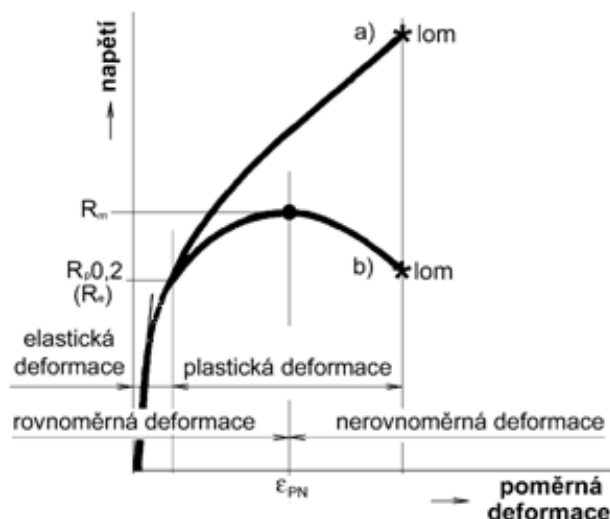
Při analýze výsledků tahové zkoušky k posouzení tvařitelnosti plechů, k zadávání vstupních dat pro pevnostní výpočty součástí a v řadě jiných analýz je nutné pracovat s diagramem skutečné napětí - skutečná deformace. Smluvní napětí a poměrnou deformaci je možné použít v případě malých deformací, kdy změny tvaru zkušebního tělesa jsou malé. Skutečné napětí je definováno podílem síly F a okamžitého průřezu S (7).

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad [MPa] \quad (7)$$

Mezi smluvním napětím a skutečným napětím platí vztah (8):

$$\sigma = R * \frac{S}{S_0} \quad [MPa] \quad (8)$$

Pro měření okamžitého průřezu v místě krčku se používají snímače zúžení, které nejsou standardním vybavením zkušebních strojů. Skutečný tahový diagram, na rozdíl od smluvního diagramu, je monotónně rostoucí funkcí. Nejvyšší napětí v tomto diagramu je skutečné napětí v okamžiku lomu (obr. 6).



Obr. 6: Porovnání skutečného (a) a smluvního (b) diagramu [5]

Uvedený přehled možností zpracování tahové zkoušky hladkých zkušebních tyčí je založen na normativních předpisech zkoušení kovových materiálů. [1]

Tvařitelnost materiálu

Vyjadřuje schopnost materiálu dosáhnout požadovaného tvaru a rozměrů plastickou deformací materiálu bez porušení jeho celistvosti. Podle teploty tváření se hodnotí tvařitelnost za studena (pro tváření pod rekrystalizační teplotou, po jehož ukončení zachovává materiál získané zpevnění) a tvařitelnost za tepla (pro tváření

nad rekrytalizační teplotou). Tvařitelnost závisí na složení i typu struktury materiálu a posuzuje se s přihlédnutím ke stavu napjatosti, způsobu a rychlosti deformace při tvářecím procesu. [6]

Hodnocení tažnosti pro určení tvařitelnosti materiálů

Zkouškou tahem získáme u jednotlivých materiálů jejich hodnotu tažnosti, čímž zjistíme, zda se jedná o materiál hlubokotažný, nebo tzv. pevnostní a tím i vhodnost pro další zpracování.

Hlubokotažné materiály jsou v automobilovém průmyslu vhodné např. pro výrobu povrchových částí karoserie, tedy všude tam, kde je velké přetvoření materiálu a je potřeba dobrá kvalita povrchu

Naproti tomu pevnostní materiály slouží například k výrobě deformačních zón v automobilech. Ty poskytují přiměřenou ochranu vozidlu a osobám v něm cestujícím v případě nárazu. Konstrukce vozidla a zadržovací systém pro cestující spolu navzájem inter-reagují při ochraně osob nacházejících se uvnitř vozidla. Konstrukce musí zachovat dostatečně velký prostor uvnitř vozidla pro to, aby zadržovací prvky pro cestující mohly účinně zapůsobit. Musí rovněž poskytnout určitou míru tlumení, kterou napomůže zadržovacímu systému při řízení akceleraace cestujících, čímž omezí nebezpečí možného poranění při nárazu. [7]

2.3.1 Princip zkoušky tahem

Zkouška spočívá v deformaci zkušebního tělesa tahovým zatížením, obvykle do lomu, za účelem stanovení jedné nebo více mechanických vlastností.

Zkouška se provádí za pokojové teploty od 10 °C do 35 °C, pokud není stanoveno jinak. Zkoušky v řízených podmínkách se musí provádět při teplotě $23\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$.

2.3.2 Zkušební těleso

Tvar a rozměry zkušebních těles mohou být podmíněny tvarem a rozměry kovového výrobku, ze kterého jsou zkušební tělesa odebírána.

Zkušební těleso se obvykle získá obráběním nebo stříháním vzorku z výrobku, výlisku nebo odlitku. Avšak výrobky konstantního průřezu (profily, tyče, dráty atd.) a rovněž litá zkušební tělesa (tj. z litin a neželezných slitin) se smí zkoušet, aniž by musely být obrobeny.

Průřez zkušebních těles může být kruhový, čtvercový, obdélníkový, prstencový nebo ve zvláštních případech i jiného tvaru.

Upřednostňovaná zkušební tělesa mají přímý vztah mezi počáteční měřenou délkou, L_0 , a počáteční průřezovou plochou, S_0 , vyjádřený rovnicí (9):

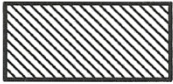
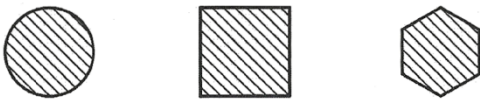
$$L_0 = k\sqrt{S_0} , \quad (9)$$

kde k je součinitel proporcionality, a nazývají se poměrná zkušební tělesa. Mezinárodně přijatá hodnota pro k je 5,65. Počáteční měřená délka musí být nejméně 15 mm. Jestliže je průřezová plocha zkušební tyče příliš malá na to, aby hodnota součinitele $k=5,65$ splnila tento požadavek, může se použít hodnota vyšší (přednostně 11,3) nebo nepoměrná zkušební tělesa.

Zkoušená délka, L_c , nebo, v případě zkušební tělesa bez přechodového poloměru, volná délka mezi čelistmi musí vždy převyšovat počáteční měřenou délku, L_0 .

Tab. 1: Hlavní druhy zkušebních těles podle typu výrobku [8]

Rozměry v milimetrech

Typ výrobku		Odpovídající příloha
Pásky – Plechy – Ploché výrobky  Tloušťka a	Dráty – Tyče – Profily  Průměr nebo strana	
$0,1 \leq a < 3$	–	B
–	< 4	C
$a \geq 3$	≥ 4	D
Trubky		E

Stanovení počáteční průřezové plochy

Odpovídající rozměry zkušebního tělesa se doporučuje měřit na adekvátních průřezových plochách kolmo k podélné ose ve středové oblasti zkoušené délky zkušebního tělesa.

Doporučují se minimálně tři průřezy.

Počáteční průřezová plocha, S_0 , je průměrem průřezových ploch a musí se vypočítat z měření vhodných rozměrů.

Značení počáteční měřené délky

Každý konec počáteční měřené délky, L_0 , musí být vyznačen jemnými značkami nebo ryskami, ale nikoliv vruby, které by mohly vést k předčasnému lomu. Neplatí při použití průtahoměru.

U poměrných zkušebních těles může být vypočítaná hodnota počáteční měřené délky zaokrouhlena na nejbližší násobek 5 mm v případě, že rozdíl mezi vypočítanou a vyznačenou měřenou délkou nepřekračuje 10% L_0 .

2.3.3 Podmínky zkoušení

Nastavení nulového bodu zatížení

Měřicí systém zatížení se musí nastavit na nulu poté, co se sestaví zkušební zatěžovací soustava, avšak ještě před vlastním upnutím zkušebního tělesa na obou koncích. Když už se jednou nulový bod zatížení nastaví, nesmí se během zkoušky žádným způsobem měnit měřicí systém zatížení.

Způsob upnutí

Způsobu upnutí zkušebního tělesa se doporučuje věnovat veškerou péči, aby se zajistilo, že zatížení působí pokud možno v jeho ose a jeho ohyb je minimální. Toto je zejména důležité při zkoušení křehkých materiálů nebo při určování smluvní meze kluzu (plastické prodloužení měřené průtahoměrem nebo celkové prodloužení měřené průtahoměrem) nebo výrazné meze kluzu.

2.3.4 Stanovení tažnosti

Je trvalé prodloužení měřené délky po lomu ($L_u - L_0$), vyjádřené v procentech počáteční měřené délky, L_0 .

Pokud se u poměrných zkušebních tyčí počáteční měřená délka nerovná (10)

$$5,65\sqrt{S_0} = 5\sqrt{\frac{4S_0}{\pi}}, \quad (10)$$

kde S_0 je počáteční průřezová plocha zkoušené délky, doporučuje se značku A doplnit indexem označujícím použitý součinitel proporcionality, například $A_{11,3}$ (11) vyjadřuje prodloužení v procentech měřené délky, L_0 .

$$A_{11,3} = 11,3\sqrt{S_0} \quad (11)$$

U nepoměrných zkušebních tyčí se doporučuje značku A doplnit indexem označujícím použitou počáteční měřenou délku vyjádřenou v milimetrech, například A_{80} mm vyjadřuje tažnost v procentech měřené délky, L_0 , 80 mm.

Tažnost musí být stanovena v souladu s předchozí definicí.

Za tímto účelem se musí obě přetržené části zkušební tyče pečlivě přiložit k sobě tak, aby jejich osy ležely na přímce.

Při měření konečné měřené délky po lomu se musí věnovat zvláštní pozornost zajištění řádného kontaktu mezi přetrženými částmi zkušebního tělesa. To je zvláště důležité u zkušebních těles malých příčných průřezů a zkušebních těles vykazujících nízké hodnoty prodloužení.

Tažnost v procentech, A , se vypočítá z rovnice (12)

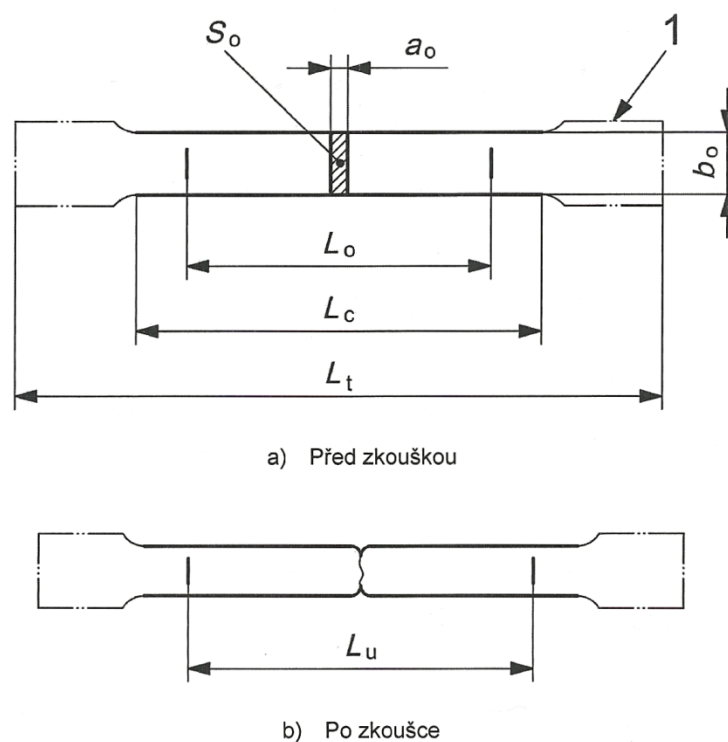
$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} * 100 \quad (12)$$

kde L_0 je počáteční měřená délka;

L_u konečná měřená délka po lomu.

Prodloužení po lomu, $L_u - L_0$, se musí stanovit pomocí měřidla s dostatečnou rozlišovací schopností na nejbližších 0,25 mm nebo lépe.

Výsledek tohoto stanovení je platný pouze tehdy, když k lomu a k lokalizaci prodloužení (k tvorbě krčku) dochází uvnitř měřené délky průtahoměru, L_e . Měření je platné, bez ohledu na polohu lomové plochy, jestliže tažnost dosahuje nebo převyšuje specifikovanou hodnotu.



Obr. 6: Obrobená zkušební tělesa pravoúhlého průřezu

Legenda

- a_0 počáteční tloušťka plochého zkušebního tělesa
- b_0 počáteční šířka zkoušené délky plochého zkušebního tělesa
- L_c zkoušená délka
- L_0 počáteční měřená délka
- L_t Celková délka zkušebního tělesa
- L_u konečná měřená délka po lomu
- S_0 počáteční průřezová plocha zkoušené délky
- 1 upnuté konce

2.3.5 Druhy zkušebních těles používaných u tenkých výrobků: plechy, pásy a ploché výrobky o tloušťce od 0,1 mm do 3 mm

Tvar zkušebního tělesa

Obvykle je zkušební těleso opatřeno upínacími konci větší šířky, než je šířka zkoušené délky. Zkoušená délka, L_c , musí přecházet do konců pomocí přechodových křivek s poloměrem alespoň 20 mm. Doporučuje se, aby šířka těchto konců byla $\geq 1,2 b_0$, kde b_0 je počáteční šířka.

Rozměry zkušebního tělesa

V případě zkušebních těles s rovnoběžnými stranami o šířce nepřevyšující 20 mm, a pokud norma na výrobek nespecifikuje jinak, musí být počáteční měřená délka, L_0 , rovna 50 mm. U tohoto druhu zkušebního tělesa se musí volná délka mezi čelistmi rovnat $L_0 + 3b_0$. [8]

Tab. 2: Rozměry zkušebních těles [8]

Rozměry v milimetrech					
Druh zkušebního tělesa	Šířka b_0	Počáteční měřená délka L_0	Zkoušená délka L_c		Volná délka mezi čelistmi u zkušebních těles s rovnoběžnými stranami
			Minimální	Doporučená	
1	$12,5 \pm 1$	50	57	75	87,5
2	20 ± 1	80	90	120	140
3	25 ± 1	50 ^{a)}	60 ^{a)}	–	Není definována

^{a)} Poměr L_0/b_0 a L_c/b_0 u zkušebního tělesa typu 3 je v porovnání s poměry typů 1 a 2 velmi nízký. V důsledku toho se budou vlastnosti, zejména pak tažnost (absolutní hodnota a pásmo rozptýlu), měřené u tohoto zkušebního tělesa, lišit od vlastností měřených u jiných druhů zkušebních těles.

Příprava zkušebních těles

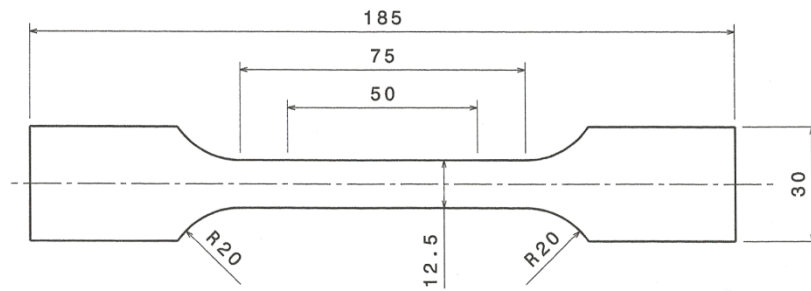
Vzorky je nutno odebírat tak, aby charakterizovaly vlastnosti materiálu - buď průměrné vlastnosti, nebo vlastnosti vymezené oblastí výrobku, která je nejvíce exponována z hlediska technologického zpracování nebo je rozhodující z hlediska provozního namáhání a životnosti výrobku. Podle těchto záměrů se volí místo, metoda odběru a počet vzorků. [9]

Zkušební tělesa se musí připravit tak, aby nedošlo k ovlivnění jejich vlastností. Všechny plochy, které byly zpevněny stříháním nebo lisováním, se musí obráběním odstranit.

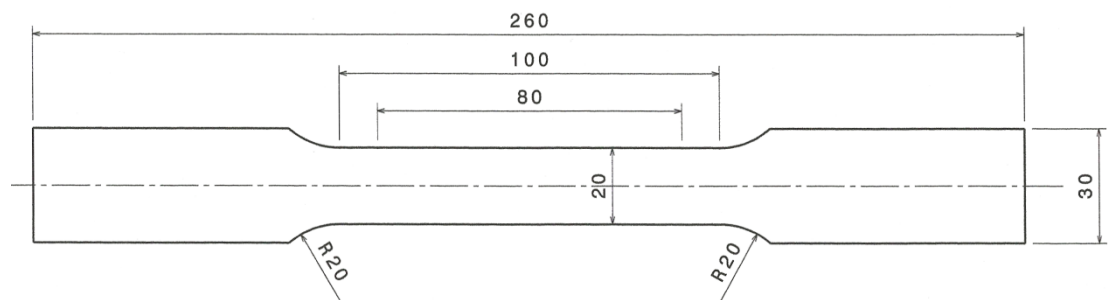
Stanovení počáteční průřezové plochy

S_0 se musí vypočítat z naměřených rozměrů zkušebního tělesa. [8]

A 50 mm



A 80 mm



Obr. 8: Rozměry vzorků pro jednotlivé zkoušky A 50 mm, A 80 mm

3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Zkouška byla provedena dle normy ČSN EN ISO 6892-1.

Byly vybrány čtyři materiály používané k výrobě karoserie a to v různých rozměrech, viz tab. 3., jejichž materiálové listy jsou v příloze č. 1. Různé tloušťky materiálů bylo nutné zvolit kvůli možnosti srovnání materiálů méně a více pevných, které se ve shodné tloušťce nevyrábí. Jako výchozí byly použity hlubokotažné materiály a materiály s vyšší pevností a k jejich rozměru poté přiřazeny pevnostní respektive vysokopevnostní.

Protokoly o vyhodnocení zkoušek jsou v příloze č. 2.

Tab. 3: Zkoušené materiály, jejich rozměry a mechanické vlastnosti udané výrobcem

Materiál	Tloušťka [mm]	Rozměr	Rozměr	$R_{p0,2}$ (R_e) [MPa]	R_m [MPa]
DX54D + Z100MB	1,2	A 50 mm	A 80 mm	120-220	260-350
	1,5	A 50 mm	A 80 mm	120-220	260-350
HX420LAD + Z100MB	1,2	A 50 mm	A 80 mm	420-520	470-590
	1,5	A 50 mm	A 80 mm	420-520	470-590
DOGAL 1000DPX	1,5	A 50 mm	A 80 mm	-	1000-1200
BTR165	1,2	A 50 mm	A 80 mm	-	>1400

3.1 Popis použitých materiálů

DX54D + Z100MB

Je materiál válcovaný za studena vhodný pro hluboké a velmi hluboké tažení. Je používán v automobilovém průmyslu pro viditelné a konstrukční díly. [10]

Z značí žárové zinkování, 100 minimální nanosenou hmotu zinku [g/m^2], M je provedení povrchové úpravy a B označuje typ povrchu. [4]

Výrobcem tohoto materiálu, stejně jako materiálu HX420LAD + Z100MB je firma ArcelorMittal.

HX420LAD + Z100MB

Je válcovaný plech s vyšší pevností oceli pro tváření ze studena. [4]

Je vhodný pro konstrukční prvky automobilů [10]

Kde H značí ploché výrobky z vysokopevnostních ocelí pro tváření za studena, X-válcované (válcované za tepla nebo za studena - není stanoveno). Z100MB má stejný význam jako u DX54D + Z100MB [4]

DOGAL 1000 DPX

Je používán v automobilovém průmyslu. V současnosti je jedním z nejvíce zastoupených za studena válcovaných pokročilých vysokopevnostních materiálů na trhu. Zajišťuje nejvyšší pevnost s lehkou konstrukcí pro různé komponenty v automobilovém průmyslu.

Je široce používán v různých dílech automobilů, jako výztuhy dveří, nárazníky a konstrukční prvky, u kterých je požadována vysoká absorpce energie, stejně jako v sedadlech, kde je vyžadována síla, bezpečnost a lehká konstrukce. Mnoho automobilových dodavatelů ve světě ho používá ve svých automobilech, protože má mnoho vynikajících vlastností a nabízí nové příležitosti. [11]

Výrobcem tohoto materiálu je firma SSAB.

BTR 165

Dle výrobce jde o vysoce pevnou ocel s martenzitickou strukturou od firmy Benteler, vyrobeno ve VW Kassel.

Nejprve bývá za tepla (kalící teplota) vyroben výlisek, který je ještě ve formě prudce ochlazen - zakalen. Vznikne vysoce pevný díl s martenzitickou strukturou. [12]

Je obzvláště vhodný pro deformační zóny automobilů, protože tyto oceli mají velmi vysokou schopnost absorpce energie.

3.2 Příprava vzorků

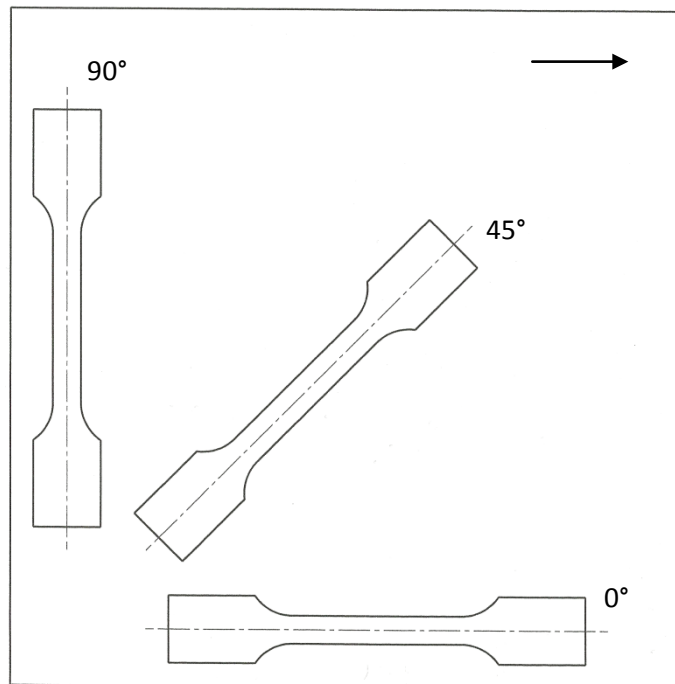
Vzorky byly odebírány z jednotlivých plechů vždy pod úhly 0° , 45° a 90° vůči směru válcování kvůli eliminování anizotropie. Anizotropií se rozumí nestejněměrnost vlastností v různých směrech souřadného systému. Při posuzování anizotropie plechů se rozlišuje anizotropie plošná (v rovině plechu) a normálová (ve směru tloušťky plechu). [13]

Pro rozlišení vzorků byl směr odběru označen popisovačem ještě před vyříznutím vzorků, viz obr. 9.



Obr. 9: Označení úhlu, pod kterým byly odebrány jednotlivé vzorky z materiálu

Plošná anizotropie je charakterizována nestejnými mechanickými hodnotami v různých směrech v rovině plechu. Příčinou je způsob výroby plechu, který zejména u plechů válcovaných za studena orientuje zrna krystalů kovu převážně ve směru válcování. [14]



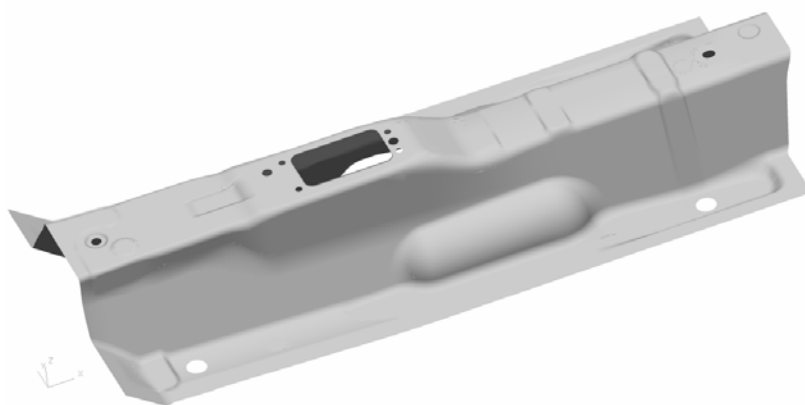
Obr. 10: Schéma rozložení vzorků, šipka značí směr válcování

V případě BTR165 (TL4225) byly vzorky odebrány z reálného dílu obr. 11, model viz obr. 12, kolmo na směr válcování (90°). Z důvodu složitosti výlisku nebylo možné odebrat vzorky z dalších směrů (0° a 45°). Z téhož důvodu složitosti výlisku a nutnosti odběru vzorků z jednoho dílu (jiný díl by mohl mít různé hodnoty mechanických vlastností) jich bylo možné odebrat pouze 14 kusů.

Jedná se o materiál kalený a tedy v případě, že bychom chtěli pro odběr vzorků použít rovnou tabuli plechu, musel by být vyroben nástroj, ve kterém by se tabule zakalila tak, aby nedošlo k její deformaci.



Obr. 11: Tunel podlahy ŠKODA SUPERB - přední



Obr. 12: Model předního tunelu podlahy ŠKODA SUPERB [3]

Vzorky byly vyřezány laserem TruLaser 3030 (výrobce Trumpf) v kovovýrobě Hoffmann (obr. 13).



Obr. 13: TruLaser 3030 [15]

Při řezání vzorků laserem mohou být na řezané ploše nerovnosti (malé vruby), které bylo nutné odstranit, jelikož mohly působit jako koncentrátor napětí a mohly způsobit prasknutí vzorku v daném místě, což by ovlivnilo naměřené výsledky. Dále se broušením odstranilo i případné tepelné ovlivnění materiálu vzniklé při tvorbě vzorku.

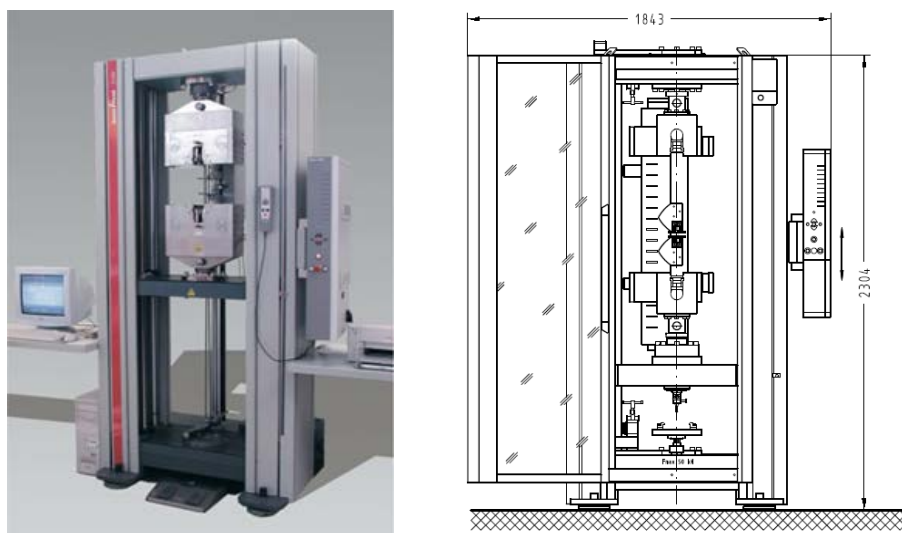
Proto byly poté hrany vzorku obroušeny o 0,3 mm oboustranně na drsnost 0,8 μm na brusce Stöckel FX 60 (viz obr. 14).



Obr. 14: Bruska Stöckel FX 60 [16]

Na zkoušku tahem byl použit stroj Zwick T1-FR250SN (obr. 15), což je stroj pro zkoušení mechanických vlastností kovů a plastů, jehož měřené parametry jsou E , R_e , $R_{p0,2}$, R_m , A .

Trhací zařízení bylo řízeno softwarem TestXpert V12.0.



Obr. 15: Jednoosý svislý zatěžovací stroj [17] a jeho schéma [4]

Ke snímání měřené délky byl použit průtahoměr multiXtens klasické konstrukce. Plynule nastavitelný rozsah měření 10-700 mm. Třída přesnosti 1 podle EN ISO 9513.

Pro přepočet tažností $A_{50 \text{ mm}}$ a $A_{80 \text{ mm}}$ byly použity vzorce (13) - (20):

$$\Delta L_0^{50} = \frac{A_{50}}{100} * L_0^{50} \quad [mm]; \quad (13)$$

$$\Delta L = \Delta L_{\text{hom}} + \Delta L_{\text{nest}} \quad [mm]; \quad (14)$$

$$\Delta L_{\text{nest}} = \Delta L - \Delta L_{\text{hom}} \quad [mm]; \quad (15)$$

kde:

$$\Delta L_{\text{hom}} = \frac{A_g}{100} * L_0 \quad [mm]; \quad (16)$$

pak

$$\Delta L^{80} = \Delta L_{\text{hom}}^{80} + \Delta L_0^{50} - \Delta L_{\text{hom}}^{50} \quad [mm]; \quad (17)$$

$$\Delta L^{80} = \frac{A_g}{100} * L_0^{80} + \frac{A_{50}}{100} * L_0^{50} - \frac{A_g}{100} * L_0^{50} \quad [mm]; \quad (18)$$

Tažnost $A_{80 \text{ mm}}$:

$$A_{80} = \frac{\Delta L^{80}}{L_0^{80}} * 100 \quad [\%] \quad (19)$$

Z čehož:

$$A_{80} = \frac{\left(\frac{A_g}{100} * L_0^{80} + \frac{A_{50}}{100} * L_0^{50} - \frac{A_g}{100} * L_0^{50} \right)}{80} * 100 \quad [\%] \quad [12] \quad (20)$$

3.3 Experimentální měření

V předchozích kapitolách byla popsána zkouška tahem a její princip. Dále zde byl uveden empirický vzorec pro přepočet tažností, který byl aplikován na níže uvedené výsledky.

Pro přehlednost tabulek je zde použito označení pro měřené hodnoty, např. $A_{80\text{ mm}}$, normálně a hodnoty spočtené s pruhem, tedy $\overline{A_{80\text{ mm}}}$.

3.3.1 Přepočet tažností

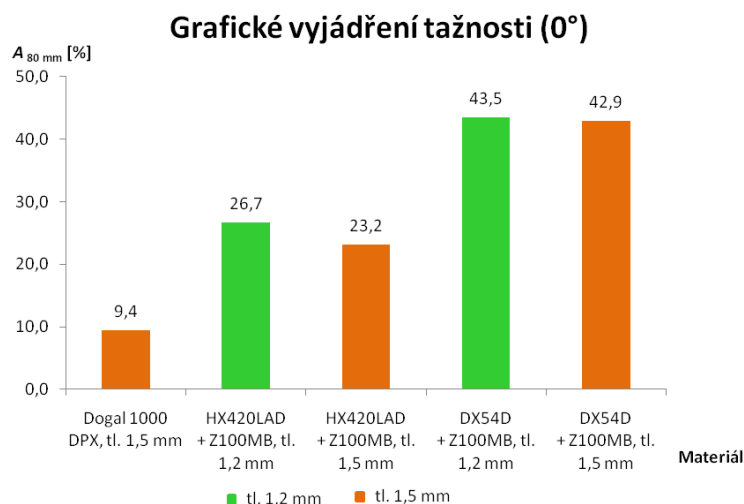
V následujících tabulkách 4 - 6 jsou uvedeny změřené hodnoty tažností $A_{80\text{ mm}}$ a k nim hodnoty tažností $A_{80\text{ mm}}$ spočtené z tažnosti $A_{50\text{ mm}}$ a A_g a počátečních měřených délek L_0^{50} a L_0^{80} dle vzorce (20) uvedeného v teorii. Dále jsou zde uváděny rozdíly jednotlivých přepočtených hodnot jak v absolutních číslech, tak v procentech pro porovnání s hodnotami naměřenými.

K těmto hodnotám se váží grafy na obrázcích 16, 18 a 20, na nichž je srovnání hodnot tažností v jednotlivých směrech a také na obrázcích 17, 19 a 21, které zobrazují srovnání vypočtených hodnot tažností $A_{80\text{ mm}}$ a hodnot tažností $A_{80\text{ mm}}$ naměřených.

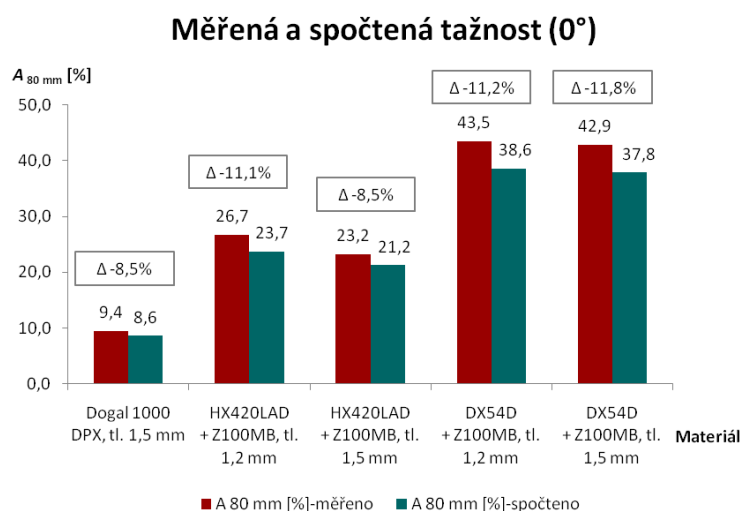
Všechny vzorky byly odebrány ze tří směrů (0° , 45° a 90°) vůči směru válcování, kromě materiálu BTR165, který byl odebrán z reálného dílu. Z tohoto důvodu bylo možné odebrat vzorky jen v omezeném počtu a pouze ve směru 90° vůči směru válcování.

Tab. 4: Hodnoty tažností ve směru 0° vůči směru válcování

Podélně - 0°	Tloušťka [mm]	$A_{80\text{ mm}}$ [%]	$\overline{A}_{80\text{ mm}}$ [%]	Rozdíl abs.	Rozdíl [%]
Dogal 1000 DPX	1,5	9,4	8,6	-0,8	-8,5
HX420LAD + Z100MB	1,2	26,7	23,7	-3,0	-11,1
	1,5	23,2	21,2	-2,0	-8,5
DX54D + Z100MB	1,2	43,5	38,6	-4,9	-11,2
	1,5	42,9	37,8	-5,1	-11,8



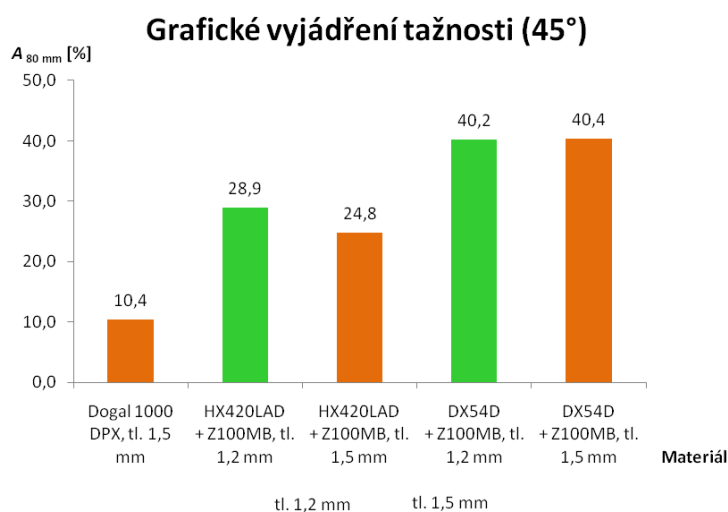
Obr. 16: Grafické vyjádření změřených tažností jednotlivých materiálů ve směru odběru 0° vůči směru válcování.



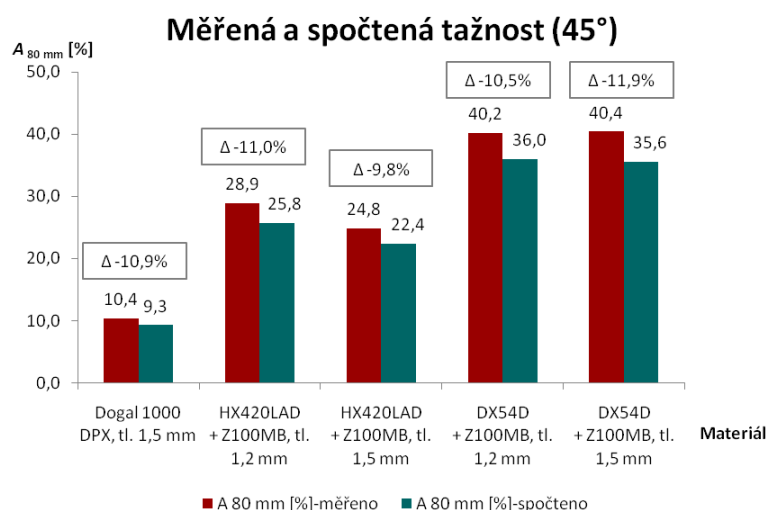
Obr. 17: Rozdíl spočtených a naměřených hodnot tažností materiálů odebraných ve směru 0° vůči směru válcování.

Tab. 5: Hodnoty tažností ve směru 45° vůči směru válcování

Příčně - 45°	Tloušťka [mm]	$A_{80\text{ mm}}$ [%]	$\overline{A}_{80\text{ mm}}$ [%]	Rozdíl abs.	Rozdíl [%]
Dogal 1000 DPX	1,5	10,4	9,3	-1,1	-10,9
HX420LAD + Z100MB	1,2	28,9	25,8	-3,2	-11,0
	1,5	24,8	22,4	-2,4	-9,8
DX54D + Z100MB	1,2	40,2	36,0	-4,2	-10,5
	1,5	40,4	35,6	-4,8	-11,9



Obr. 18: Grafické vyjádření změřených tažností jednotlivých materiálů ve směru odběru 45° vůči směru válcování.



Obr. 19: Rozdíl spočtených a naměřených hodnot tažností materiálů odebraných ve směru 45° vůči směru válcování.

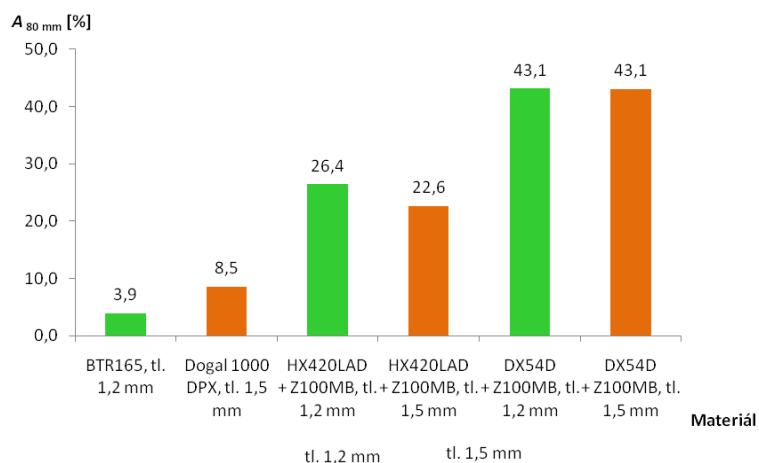
Tab. 6: Hodnoty tažností ve směru 90° vůči směru válcování pro porovnání s normou*

Kolmo - 90°	Tloušťka [mm]	$A_{80 \text{ mm}}$ [%] norma	$A_{80 \text{ mm}}$ [%]	$\overline{A}_{80 \text{ mm}}$ [%]	Rozdíl abs.	Rozdíl [%]
BTR165**	1,2	6,0	3,9	3,9	0,0	-1,0
Dogal 1000 DPX	1,5	6,0	8,5	7,9	-0,6	-7,0
HX420LAD	1,2	17,0	26,4	24,0	-2,4	-9,2
+ Z100MB	1,5	17,0	22,6	20,0	-2,6	-11,7
DX54D	1,2	36,0	43,1	38,1	-5,1	-11,8
+ Z100MB	1,5	36,0	43,1	37,1	-6,0	-14,0

* pozn.: Norma udává hodnoty pro odběr vzorků pouze ve směru 90° vůči směru válcování.

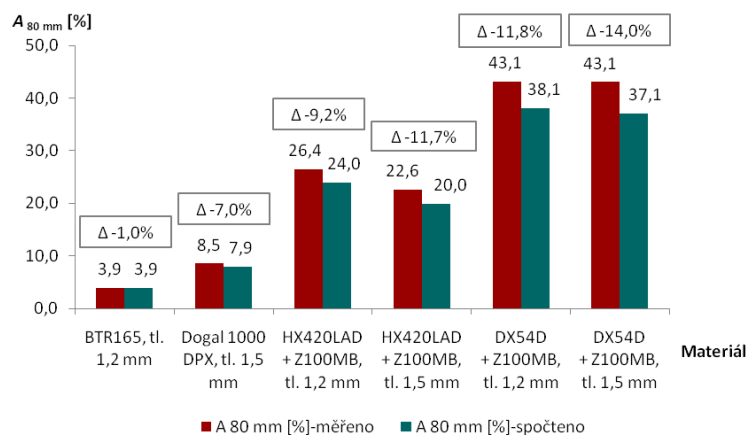
** pozn.: Hodnoty $A_{80 \text{ mm}}$ počítány ze vzorků přiřazených k hodnotám $A_{50 \text{ mm}}$.

Grafické vyjádření tažnosti (90°)



Obr. 20: Grafické vyjádření změřených tažností jednotlivých materiálů ve směru odběru 90° vůči směru válcování.

Měřená a spočtená tažnost (90°)



Obr. 21: Rozdíl spočtených a naměřených hodnot tažností materiálů odebraných ve směru 90° vůči směru válcování.

V tabulce 7 jsou uvedeny veškeré hodnoty potřebné k přepočtu tažnosti z rozměru vzorku z $A_{50\text{ mm}}$ na $A_{80\text{ mm}}$.

Tab. 7: Naměřené hodnoty potřebné k výpočtu

90°	Tloušťka [mm]	A_g [%] z $A_{50\text{ mm}}$	$A_{50\text{ mm}}$ [%]	L_0^{50} [mm]	L_0^{50} [mm]	$A_{80\text{ mm}}$ [%]
BTR165	1,2	2,4	4,8	50,0	80,0	3,9
Dogal 1000 DPX	1,5	5,5	9,4	50,0	80,0	7,9
HX420LAD + Z100MB	1,2	16,4	28,5	50,0	80,0	24,0
	1,5	13,4	23,9	50,0	80,0	20,0
DX54D + Z100MB	1,2	24,7	46,1	50,0	80,0	38,0
	1,5	23,7	45,1	50,0	80,0	37,1

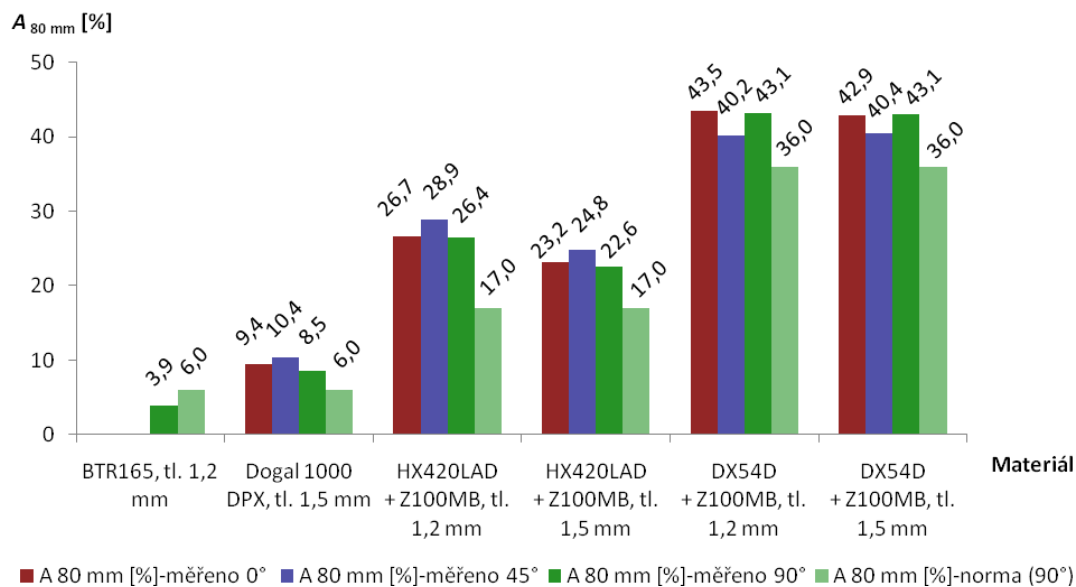
V následující tabulce jsou hodnoty tažností jednotlivých materiálů ze vzorků odebraných ze všech tří směrů (kromě BTR165). V posledním sloupci jsou uvedeny hodnoty udávané normou. s těmi lze porovnat hodnoty naměřené na vzorcích odebraných ve směru 90° vůči směru válcování.

Hodnoty z předchozí tabulky (8) jsou zpracovány do následujícího grafu (viz. obr 22). Pro srovnání jsou hodnoty tažností vzorků ze směru 90° vůči směru válcování a normalizované hodnoty označeny stejnou barvou jen s rozdílnou sytostí.

Tab. 8: Hodnoty naměřených tažností a porovnání s normou

	$A_{80\text{ mm}}$ [%] 0°	$A_{80\text{ mm}}$ [%] 45°	$A_{80\text{ mm}}$ [%] 90°	$A_{80\text{ mm}}$ [%] norma (90°)
BTR165, tl. 1,2 mm	-	-	3,9	6,0
Dogal 1000 DPX, tl. 1,5 mm	9,4	10,4	8,5	6,0
HX420LAD + Z100MB, tl. 1,2 mm	26,7	28,9	26,4	17,0
HX420LAD + Z100MB, tl. 1,5 mm	23,2	24,8	22,6	17,0
DX54D + Z100MB, tl. 1,2 mm	43,5	40,2	43,1	36,0
DX54D + Z100MB, tl. 1,5 mm	42,9	40,4	43,1	36,0

Závislosti tažnosti na směru odběru vzorku



Obr. 22: Srovnání tažností v jednotlivých směrech a porovnání tažnosti ze směru 90° s normalizovanými hodnotami.

3.3.2 Mechanické vlastnosti

V nadcházejících tabulkách 9-11 jsou naměřené hodnoty mechanických vlastností jednotlivých materiálů, a to vždy v daných směrech, tedy 0°, 45° a 90°. Na obr. 22 se nachází zobrazení závislosti pevnosti jednotlivých materiálů na směru odběru vzorků.

Tab. 9: Hodnoty mechanických vlastností ve směru 0° vůči směru válcování

Rozměr		A _{50 mm}		A _{80 mm}	
Podélně - 0°	Tloušťka [mm]	R _{p0,2} [MPa]	R _m [MPa]	R _{p0,2} [MPa]	R _m [MPa]
Dogal 1000 DPX	1,50	978,3	1156,4	941,9	1113,7
HX420LAD + Z100MB	1,20	434,2	510,6	416,2	488,8
	1,50	416,8	529,1	416,8	530,4
DX54D + Z100MB	1,20	173,2	300,6	169,2	298,7
	1,50	179,9	296,7	172,6	292,1

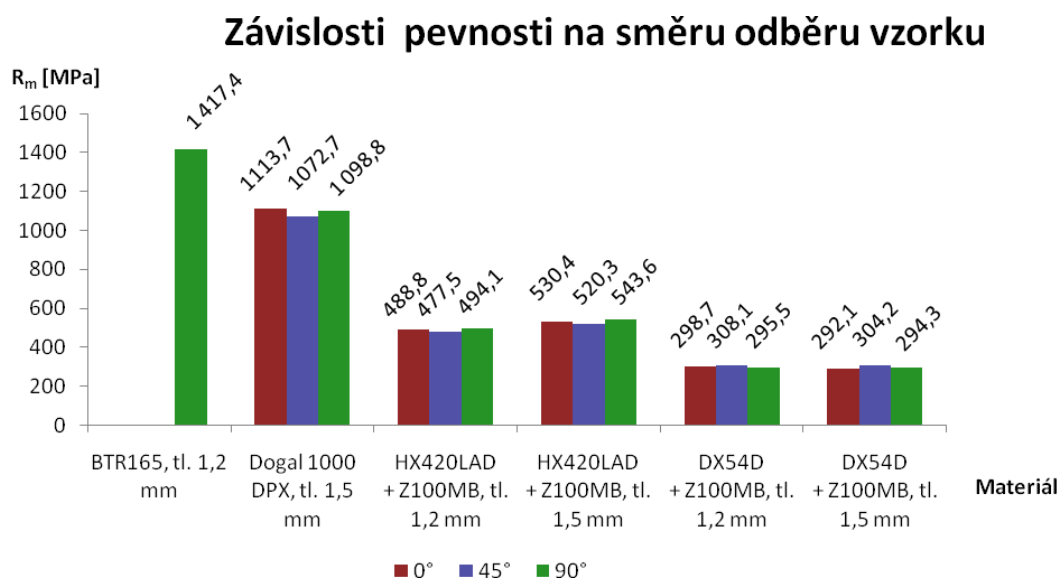
Tab. 10: Hodnoty mechanických vlastností ve směru 45° vůči směru válcování

Rozměr		A 50 mm		A 80 mm	
Příčně - 45°	Tloušťka [mm]	R _{p0,2} [MPa]	R _m [MPa]	R _{p0,2} [MPa]	R _m [MPa]
Dogal 1000 DPX	1,50	939,8	1115,8	902,4	1072,7
HX420LAD + Z100MB	1,20	459,4	500,3	442,5	477,5
	1,50	433,7	521,2	432,9	520,3
DX54D + Z100MB	1,20	181,9	309,7	181,1	308,1
	1,50	191,6	304,2	191,8	304,2

Tab. 11: Hodnoty mechanických vlastností ve směru 90° vůči směru válcování pro porovnání s normou*

Rozměr		A 50 mm		A 80 mm		A 80 mm norma	
Kolmo - 90°	Tloušťka [mm]	R _{p0,2} [MPa]	R _m [MPa]	R _{p0,2} [MPa]	R _m [MPa]	R _{p0,2} (R _e) [MPa]	R _m [MPa]
BTR165	1,20	971,7	1295,3	1041,5	1417,4	-	>1400
Dogal 1000 DPX	1,50	957,0	1141,2	922,1	1098,8	-	1000-1200
HX420LAD + Z100MB	1,20	470,8	513,9	452,9	494,1	450-520	470-590
	1,50	453,6	548,3	450,2	543,6	450-520	470-590
DX54D + Z100MB	1,20	181,8	298,3	178,5	295,5	120-220	260-350
	1,50	188,4	294,3	188,0	294,3	120-220	260-350

* pozn.: Norma udává hodnoty pro odběr vzorků pouze ve směru 90° vůči směru válcování.



Obr. 23: Grafické zobrazení pevnosti materiálů v závislosti na směru odběru vzorků.

V některých případech byly průměrné hodnoty naměřené programem TestXpert chybné a proto bylo vše přepočítáno.

4. DISKUSE VÝSLEDKŮ

a) Všechny přepočítané tažnosti odpovídají normám, s výjimkou BTR165. U tohoto materiálu nejsou plněny ani naměřené hodnoty tažnosti, kde kvůli odebrání vzorků z reálného dílu nebyla pravděpodobně dodržena technologická kázeň a materiál nemá požadované hodnoty (průměrná tažnost, v některých případech i pevnost).

b) Přepočtené hodnoty ukazují, že u vzorků odebraných v 0° vůči směru válcování (tab. 4) nemá druh materiálu, ani jeho tloušťka, na přepočet vliv. Všechny přepočtené hodnoty se pohybují od -8,5% rozdílu u materiálů Dogal 1000 DPX a HX420LAD + Z100MB v tloušťkách 1,5 mm do hodnoty -11,8%, která byla naměřena u materiálu DX54D + Z100MB tloušťky 1,5mm.

c) U vzorků odebraných ve 45° od směru válcování (tab. 5) byly rozdíly v přepočtech taktéž téměř shodné. Nejnižší rozdíl byl zjištěn u materiálu HX420LAD + Z100MB, a to -9,8%, naopak nejvyšší u materiálu DX54D + Z100MB, kde se spočtené a naměřené hodnoty lišily o -11,9%.

d) Hodnoty vzorků odebraných ve směru 90° vůči směru válcování (tab. 6), tedy jediné, které lze porovnat s normou, již hovoří jasně. Procentuelní rozdíl naměřených a přepočtených hodnot se zvyšuje od hodnoty -1,0% zjištěné u materiálu BTR165, což je materiál vysokopevnostní, přes hodnotu -7,0% pevnostního materiálu Dogal 1000 DPX, dále přes hodnoty -9,2% u materiálu s vyšší pevností HX420LAD + Z100MB tloušťky 1,2mm a -11,7% tloušťky 1,5 mm až k hodnotám zjištěným u hlubokotažného materiálu DX54D + Z100MB tloušťky 1,2 mm, -11,8% a -14,0% tloušťky 1,5mm.

Z těchto hodnot vyplývá, že použití přepočtu je tedy možné pouze pro mangan borové oceli typu BTR165, kde je jednoprocentní rozdíl zanedbatelný. Použití přepočtu zde tedy mohu doporučit. Hodnota -7% spočtená u materiálu Dogal 1000 DPX a všechny další hodnoty rozdílu sice splňují normu, jsou ale dost vysoké a v některých případech by mohlo být celé měření přepočtem znehodnoceno. Zde použití vzorce nedoporučuji.

Mohlo by se tedy říci, že čím má materiál vyšší pevnost, tím je přepočet přesnější.

Spočítané hodnoty se shodují s hodnotami, které je možno spočítat přímo v programu TestXpert.

e) Při zkouškách vysokopevnostních vzorků, nastaly problémy s praskáním mimo měřenou délku průtahoměru, a zkouška byla tím pádem neplatná. Ze 14 zkoumaných vzorků byly při délce tyčky $A_{50\text{ mm}}$ použitelné pouze 4 vzorky. Tyčky velikosti $A_{80\text{ mm}}$ již vycházely lépe, zde byly neplatné pouze dvě zkoušky. Ze získaných hodnot nelze tedy získat statisticky přesné hodnoty. Pro nedostatek vzorků nebylo bohužel možné měření zopakovat. Pro statisticky přesné měření by bylo potřeba zopakovat zkoušky s větším počtem vzorků, ideálně odebraných z rovné kalené tabule plechu.

f) U hlubokotažných materiálů nenastaly při zkouškách žádné větší komplikace. Pouze v některých případech vznikla chyba měření z důvodu nesprávného upnutí vzorku.

h) Byly mezi sebou porovnány jednotlivé směry válcování u všech materiálů s výjimkou BTR165, u něhož bylo možné vzorky odebrat pouze ve směru 90° vůči směru válcování (tab. 22). Z naměřených hodnot vyplynulo, že tažnost vzorků ve všech směrech odpovídá minimální hodnotě udané normou. Výjimkou je pouze BTR165.

i) Z naměřených hodnot můžeme porovnávat i další výsledky, jako jsou hodnoty meze kluzu či pevnosti.

Z těchto hodnot plyne, že všechny materiály s výjimkou BTR165, kde, jak už bylo řečeno, nebyla patrně dodržena technologická kázeň, odpovídají hodnotám udaným v materiálových listech.

Pro vyhodnocení těchto hodnot byly použity výsledky ze zkoušek tyček $A_{80\text{ mm}}$, neboť tyto jsou uváděny normou.

5. ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce byla verifikace vzorce pro přepočet tažnosti pomocí statické zkoušky tahem dle EN ISO 6892-1. K tomuto účelu byly vybrány dvě různé skupiny plechů. První skupinou byly hlubokotažné plechy DX54D + Z100MB a plechy s vyšší pevností s označením HX420LAD + Z100MB. Do druhé skupiny byly zvoleny plechy pevnostní (Dogal 1000 DPX) a vysokopevnostní - BTR165. Tyto materiály byly mezi sebou porovnány v různých tloušťkách a rozměrech vzorků a výsledky sestaveny do tabulek. Na základě zjištěných výsledků bylo rozhodnuto o vhodnosti či nevhodnosti přepočtu pro dané skupiny materiálů. Přepočítané hodnoty ukazují, že u méně pevných, resp. středně či více pevných materiálů, je procentuelní rozdíl vyšší a tedy použití vzorce nevhodné. Dále bylo zjištěno, že tloušťka materiálu, ani směr odběru vzorků vůči směru válcování nemá na přepočet větší vliv. Ze zkoumaných materiálů vyšel jako jediný vhodný materiál, u kterého lze bez větší chyby přepočet použít, BTR165.

Obecně lze tedy říci, že čím je vyšší hodnota pevnosti materiálu, tím je přepočet přesnější.

V rámci bakalářské práce:

- bylo provedeno seznámení se zkouškou hodnocení tažnosti kovových materiálů dle EN ISO 6892-1 a zpracováno v teorii
- byl zdůvodněn význam hodnocení tažnosti pro určení tvařitelnosti materiálů a zpracován v teorii
- byl spočten převod tažností a zdůvodněna jeho potřebnost v hodnocení materiálů
- byla experimentálně provedena tahová zkouška pro dané materiály s různými mechanickými vlastnostmi a byly zjištěny tažnosti ($A_{50\text{ mm}}$, $A_{80\text{ mm}}$) a další mechanické vlastnosti daných materiálů
- ze získaných výsledků byl proveden přepočet tažností dle zadaného vzorce
- výpočty byly verifikovány s naměřenými výsledky

V teoretické části byla popsána zkouška tahem a její princip a zdůvodněn význam hodnocení tažnosti pro určení tvařitelnosti.

V praktické části byla experimentálně provedena tahová zkouška, vyhodnoceny výsledky zkoušek jednotlivých materiálů, různých směrů odebraných vzorků, a také různých tloušťek některých materiálů a sepsáno doporučení použití vzorce.

Seznam použité literatury

- [1] PTÁČEK, L. a kol.: *Nauka o materiálu I.*, Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2003. ISBN 80-7204-283-1.
- [2] HLUCHÝ, M.; KOLOUCH J.: *Strojírenská technologie 1 - 1. díl*, Praha 6: Scienta, spol. s r.o., pedagogické nakladatelství, 1999. ISBN 80-7183-150-6.
- [3] VELES, P.: *Mechanické vlastnosti a skúšanie kovov*, Bratislava: ALFA, vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatúry, n. p., 1985.
- [4] Interní materiály Škoda Auto, a. s.
- [5] <<http://ime.fme.vutbr.cz/files/vyuka/5FM/FM1%20Exponent%20zpevneni%20%202009.doc>> [8. 5. 2011].
- [6] KRÍŽ, R.; VÁVRA, P.: *Strojírenská příručka*, Český Těšín: Nakladatelství a vydavatelství SCIENTA, spol. s r.o., 1993. ISBN 80-85827-23-9.
- [7] ZIEGELHEIMOVÁ, J., *Mechanické vlastnosti nově vyvinutých ocelových plechů*, dizertační práce, Praha: ČVUT 2003.
- [8] Norma ČSN EN ISO 6892-1: „Kovové materiály - Zkouška tahem - Část 1: Zkušební metoda za pokojové teploty“, srpen 2009.
- [9] PLUHAR, J. a kol.: *Nauka o materiálech*, Praha: SNTL, 1989.
- [10] <http://www.arcelormittal.com/automotive/products/europe/sheets/catalogue.pl?id_sheet=K&header=&language=EN> [27. 5. 2011]
- [11] <http://www.ssab.com/Global/DOCOL/datasheets_dogal/en/302_Dogal%201000%20DPX.pdf> [27. 5. 2011]
- [12] SLÁMOVÁ, M., *Vysokopevnostní materiály v konstrukci osobního automobilu*, diplomová práce, Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2006.
- [13] < <http://www.345.vsb.cz/jiripetruzelka/Texty/TvCELEupr.pdf>>, [26. 5. 2011].
- [14] DRASTÍK, F.; ELFMARK. J. a kol: *Plastometry a tvařitelnost kovů*, Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, n. p., 1977.

- [15] <<http://www.machine-outil.com/produit.php?which=2053>> [8. 5. 2011].
- [16] <http://media.stoeckel.de/261-FL_FX_engl_download.pdf> [6. 5. 2011].
- [17] <http://www.tksnet.co.jp/products/zwick_sn03.html> [15. 5. 2011].

Seznam příloh

Příloha č. 1: Tabulky výsledků - tažnost

Příloha č. 2: Tabulky výsledků - mechanické vlastnosti

Příloha č. 3: Protokoly ze zkoušky tahem

Příloha č. 4: Fotodokumentace

Příloha č. 1: Tabulky výsledků - tažnost

1.1 BTR 165

1.2 Dogal 1000 DPX

1.3 HX420LAD + Z100MB tl. 1,2 mm

1.4 HX420LAD + Z100MB tl. 1,5 mm

1.5 DX54D + Z100MB, tl. 1,2 mm

1.6 DX54D + Z100MB , tl. 1,5 mm

Příloha č. 1: Tabulky výsledků - tažnost

1.1 BTR 165

Vzorek č.	Tloušťka [mm]	A_g [%] $z A_{50\text{ mm}}$	$A_{50\text{ mm}}$ [%]	$A_{80\text{ mm}}$ [%]	$\overline{A_{80\text{ mm}}}$	Rozdíl [%]
1	1,2	2,6	5,0	2,7		
2	1,2			5,4		
3	1,2	2,9	5,2	4,3		
4	1,2					
5	1,2			5,2		
6	1,2			4,1		
7	1,2			4,0		
8	1,2	1,2	3,4	4,8		
9	1,2			4,5		
10	1,2			2,9		
11	1,2			6,8		
12	1,2			4,3		
13	1,2					
14	1,2	3,0	5,5	3,8		
\overline{x}		2,4	4,8	3,9	3,9	-1,0
s		0,7	0,8	0,8		

pozn.: Hodnoty $A_{80\text{ mm}}$ počítány pouze ze vzorků přiřazených k hodnotám $A_{50\text{ mm}}$

1.2 Dogal 1000 DPX

Hodnoty tažností ve směru 0° vůči směru válcování

Vzorek č.	Tloušťka [mm]	A_g [%] z $A_{50\text{ mm}}$	$A_{50\text{ mm}}$ [%]	$A_{80\text{ mm}}$ [%]	$\overline{A_{80\text{ mm}}}$	Rozdíl [%]
1	1,5	6,3	11,3	10,1		
2	1,5	5,8	10,8	10,0		
3	1,5	5,9	11,3	10,0		
4	1,5	6,0	11,0	10,2		
5	1,5	5,5	10,2	9,2		
6	1,5			9,4		
7	1,5	5,3	9,3	9,3		
8	1,5	5,5	9,6	8,7		
9	1,5	5,4	10,1	8,9		
10	1,5	5,3	9,9	8,4		
\bar{x}		5,7	10,4	9,4	8,6	-8,5
s		0,3	0,7	0,6		

Hodnoty tažností ve směru 45° vůči směru válcování

Vzorek č.	Tloušťka [mm]	A_g [%] z $A_{50\text{ mm}}$	$A_{50\text{ mm}}$ [%]	$A_{80\text{ mm}}$ [%]	$\overline{A_{80\text{ mm}}}$	Rozdíl [%]
21	1,45	6,1	11,7	10,8		
22	1,45	6,1	11,8	9,2		
23	1,45	5,8	10,9	9,8		
24	1,45	5,8	10,9	9,9		
25	1,45			10,1		
26	1,45	6,0	10,8	10,5		
27	1,45	6,0	11,2	10,1		
28	1,45	5,8	11,3	11,4		
29	1,45	5,8	11,7	10,7		
30	1,45	5,7	11,4	11,6		
\bar{x}		5,9	11,3	10,4	9,3	-10,9
s		0,2	0,4	0,7		

Hodnoty tažností ve směru 90° vůči směru válcování

Vzorek č.	Tloušťka [mm]	A_g [%] z $A_{50\text{ mm}}$	$A_{50\text{ mm}}$ [%]	$A_{80\text{ mm}}$ [%]	$\overline{A_{80\text{ mm}}}$	Rozdíl [%]
11	1,5	5,4	9,5	8,3		
12	1,5	5,8	9,7	8,2		
13	1,5			8,5		
14	1,5			8,8		
15	1,5			8,1		
16	1,5	5,4	9,3	9,4		
17	1,5	5,7	9,6	8,5		
18	1,5					
19	1,5					
20	1,5	5,3	9,0			
\overline{x}		5,5	9,4	8,5	7,9	-7,0
s		0,2	0,2	0,4		

Průměrné hodnoty tažností

	A_g [%] z $A_{50\text{ mm}}$	$A_{50\text{ mm}}$ [%]	$A_{80\text{ mm}}$ [%]	$\overline{A_{80\text{ mm}}}$	Rozdíl [%]
\overline{x}	5,7	10,4	9,5	8,6	-8,8
s	0,3	0,9	1,0	0,5	1,6

1.3 HX420LAD + Z100MB tl. 1,2 mm

Hodnoty tažností ve směru 0° vůči směru válcování

Vzorek č.	Tloušťka [mm]	A_g [%] z $A_{50\text{ mm}}$	$A_{50\text{ mm}}$ [%]	$A_{80\text{ mm}}$ [%]	$\overline{A_{80\text{ mm}}}$	Rozdíl [%]
1	1,2	16,4	28,5			
2	1,2	16,5	27,6	26,4		
3	1,2	16,0	27,9	26,9		
4	1,2	16,4	27,8	26,7		
5	1,2	17,2	28,4	27,0		
6	1,2	16,5	28,0	26,6		
7	1,2	17,1	28,5	26,8		
8	1,2	16,8	27,7	26,9		
9	1,2	16,4	27,4	26,8		
10	1,2	16,9	28,0	26,0		
\overline{x}		16,6	28,0	26,7	23,7	-11,2
s		0,4	0,4	0,3		

Hodnoty tažností ve směru 45° vůči směru válcování

Vzorek č.	Tloušťka [mm]	A_g [%] z $A_{50\text{ mm}}$	$A_{50\text{ mm}}$ [%]	$A_{80\text{ mm}}$ [%]	$\overline{A_{80\text{ mm}}}$	Rozdíl [%]
21	1,2	17,2	30,5	29,0		
22	1,2	17,1	30,3	29,1		
23	1,2	17,1	33,3	29,9		
24	1,2	17,6	30,5	29,2		
25	1,2	16,9	31,1	28,1		
26	1,2	17,5	30,8	28,0		
27	1,2	17,3	30,6	28,8		
28	1,2	17,2	30,5	29,9		
29	1,2	17,0	29,7	28,9		
30	1,2	17,8	31,2	28,4		
\overline{x}		17,3	30,8	28,9	25,8	-11,0
s		0,3	0,9	0,6		

Hodnoty tažností ve směru 90° vůči směru válcování

Vzorek č.	Tloušťka [mm]	A_g [%] z $A_{50\text{ mm}}$	$A_{50\text{ mm}}$ [%]	$A_{80\text{ mm}}$ [%]	$\overline{A_{80\text{ mm}}}$	Rozdíl [%]
11	1,2	16,1	26,9	27,7		
12	1,2	16,5	27,1	28,3		
13	1,2	16,5	30,6	26,9		
14	1,2	16,4	29,2	26,0		
15	1,2	16,2	27,1	27,5		
16	1,2	16,2	28,7	27,7		
17	1,2	16,3	28,2	23,6		
18	1,2	16,7	29,6	23,3		
19	1,2	16,4	29,7	26,6		
20	1,2	16,9	28,1	26,5		
\overline{x}		16,4	28,5	26,4	24,0	-9,2
s		0,2	1,2	1,6		

Průměrné hodnoty tažností

	A_g [%] z $A_{50\text{ mm}}$	$A_{50\text{ mm}}$ [%]	$A_{80\text{ mm}}$ [%]	$\overline{A_{80\text{ mm}}}$	Rozdíl [%]
\overline{x}	16,8	29,1	27,3	24,5	-10,5
s	0,4	1,3	1,1	0,9	0,9

1.4 HX420LAD + Z100MB tl. 1,5 mm

Hodnoty tažností ve směru 0° vůči směru válcování

Vzorek č.	Tloušťka [mm]	A_g [%] z $A_{50\text{ mm}}$	$A_{50\text{ mm}}$ [%]	$A_{80\text{ mm}}$ [%]	$\overline{A_{80\text{ mm}}}$	Rozdíl [%]
1	1,5	14,9	25,2	22,8		
2	1,5	14,8	25,7	22,9		
3	1,5	14,4	24,3	23,0		
4	1,5	14,8	25,4	23,4		
5	1,5	15,0	26,4	23,4		
6	1,5	14,9	25,0	23,8		
7	1,5	15,0	26,1	22,9		
8	1,5	14,4	24,3	22,9		
9	1,5	14,6	24,5	23,2		
10	1,5	14,6	24,4	23,6		
\overline{x}		14,7	25,1	23,2	21,2	-8,5
s		0,2	0,7	0,3		

Hodnoty tažností ve směru 45° vůči směru válcování

Vzorek č.	Tloušťka [mm]	A_g [%] z $A_{50\text{ mm}}$	$A_{50\text{ mm}}$ [%]	$A_{80\text{ mm}}$ [%]	$\overline{A_{80\text{ mm}}}$	Rozdíl [%]
21	1,5	14,2	26,3	23,5		
22	1,5	14,5	26,9	24,6		
23	1,5	15,0	27,7	25,5		
24	1,5	14,5	27,8	23,9		
25	1,5	14,8	28,2	24,3		
26	1,5	14,7	26,3	24,8		
27	1,5	14,9	28,3	25,7		
28	1,5	14,0	26,2	25,3		
29	1,5	14,2	26,4	26,3		
30	1,5	14,2	27,5	24,6		
\overline{x}		14,5	27,2	24,8	22,4	-9,8
s		0,3	0,8	0,8		

Hodnoty tažností ve směru 90° vůči směru válcování

Vzorek č.	Tloušťka [mm]	A_g [%] z $A_{50\text{ mm}}$	$A_{50\text{ mm}}$ [%]	$A_{80\text{ mm}}$ [%]	$\overline{A}_{80\text{ mm}}$	Rozdíl [%]
11	1,5	13,2	23,8	23,5		
12	1,5	13,0	23,9	21,4		
13	1,5	13,4	24,1	22,5		
14	1,5	13,5	24,7	23,1		
15	1,5	13,6	23,2	22,4		
16	1,5	13,6	23,3	21,7		
17	1,5	13,5	24,5	22,4		
18	1,5	13,1	22,7	22,6		
19	1,5	13,3	25,8	23,0		
20	1,5	13,4	23,1	23,3		
\overline{x}		13,4	23,9	22,6	20,0	-11,7
s		0,2	0,9	0,6		

Průměrné hodnoty tažností

	A_g [%] z $A_{50\text{ mm}}$	$A_{50\text{ mm}}$ [%]	$A_{80\text{ mm}}$ [%]	$\overline{A}_{80\text{ mm}}$	Rozdíl [%]
\overline{x}	14,2	25,4	23,5	21,2	-10,0
s	0,6	1,3	1,0	1,0	1,3

1.5 DX54D + Z100MB, tl. 1,2 mm*Hodnoty tažností ve směru 0° vůči směru válcování*

Vzorek č.	Tloušťka [mm]	A_g [%] z $A_{50\text{ mm}}$	$A_{50\text{ mm}}$ [%]	$A_{80\text{ mm}}$ [%]	$\overline{A_{80\text{ mm}}}$	Rozdíl [%]
1	1,2	25,6	46,3	42,7		
2	1,2	25,7	47,4	43,5		
3	1,2	25,7	47,1	43,3		
4	1,2	25,1	47,1	43,2		
5	1,2	25,9	46,7	43,3		
6	1,2	25,2	46,5	43,3		
7	1,2	26,3	46,4	43,5		
8	1,2	24,7	45,8	44,2		
9	1,2	25,1	45,5	43,9		
10	1,2	24,7	46,0	43,6		
\overline{x}		25,4	46,5	43,5	38,6	-11,3
s		0,5	0,6	0,4		

Hodnoty tažností ve směru 45° vůči směru válcování

Vzorek č.	Tloušťka [mm]	A_g [%] z $A_{50\text{ mm}}$	$A_{50\text{ mm}}$ [%]	$A_{80\text{ mm}}$ [%]	$\overline{A_{80\text{ mm}}}$	Rozdíl [%]
21	1,2	23,5	43,0	40,3		
22	1,2	23,6	42,7			
23	1,2	24,0	44,1	38,6		
24	1,2	23,9	43,7	41,0		
25	1,2	23,5	43,7	40,7		
26	1,2	24,0	42,9	41,3		
27	1,2	23,5	43,5	40,4		
28	1,2	24,1	43,6	40,2		
29	1,2	23,8	43,8	39,7		
30	1,2	23,4	42,4	39,7		
\overline{x}		23,7	43,3	40,2	36,0	-10,5
s		0,3	0,5	0,8		

Hodnoty tažností ve směru 90° vůči směru válcování

Vzorek č.	Tloušťka [mm]	A_g [%] z $A_{50\text{ mm}}$	$A_{50\text{ mm}}$ [%]	$A_{80\text{ mm}}$ [%]	$\overline{A_{80\text{ mm}}}$	Rozdíl [%]
11	1,2	24,5	46,1	43,1		
12	1,2	25,1	45,5	43,8		
13	1,2	24,8	45,4	42,9		
14	1,2	24,3	47,8	43,7		
15	1,2	24,5	44,3	42,4		
16	1,2	24,6	47,0	42,9		
17	1,2	24,4	45,2	42,9		
18	1,2	25,4	46,7	41,8		
19	1,2	25,1	47,0	43,6		
20	1,2	24,5	45,5	44,2		
\overline{x}		24,7	46,1	43,1	38,1	-11,8
s		0,4	1,0	0,7		

Průměrné hodnoty tažností

	A_g [%] z $A_{50\text{ mm}}$	$A_{50\text{ mm}}$ [%]	$A_{80\text{ mm}}$ [%]	$\overline{A_{80\text{ mm}}}$	Rozdíl [%]
\overline{x}	24,6	45,3	42,3	37,5	-11,2
s	0,7	1,4	1,5	1,1	0,5

1.6 DX54D + Z100MB , tl. 1,5 mm

Hodnoty tažností ve směru 0° vůči směru válcování

Vzorek č.	Tloušťka [mm]	A_g [%] z $A_{50\text{ mm}}$	$A_{50\text{ mm}}$ [%]	$A_{80\text{ mm}}$ [%]	$\overline{A_{80\text{ mm}}}$	Rozdíl [%]
1	1,5	24,4	45,9	42,5		
2	1,5	24,2	45,7	43,1		
3	1,5	24,3	45,8	42,7		
4	1,5	24,4	45,7	43,1		
5	1,5	25,0	46,7	42,9		
6	1,5	24,8	46,6	42,9		
7	1,5	24,5	45,8	43,0		
8	1,5	24,1	45,6	43,0		
9	1,5	24,1	45,4	43,1		
10	1,5	24,4	45,8	42,6		
\overline{x}		24,4	45,9	42,9	37,8	-11,8
s		0,3	0,4	0,2		

Hodnoty tažností ve směru 45° vůči směru válcování

Vzorek č.	Tloušťka [mm]	A_g [%] z $A_{50\text{ mm}}$	$A_{50\text{ mm}}$ [%]	$A_{80\text{ mm}}$ [%]	$\overline{A_{80\text{ mm}}}$	Rozdíl [%]
21	1,5	23,2	43,9	39,5		
22	1,5	23,1	43,5	40,5		
23	1,5	23,1	42,4	39,4		
24	1,5	23,1	43,6	41,9		
25	1,5	23,0	42,8	39,8		
26	1,5	23,0	43,3	40,7		
27	1,5	22,8	42,4	40,8		
28	1,5	23,3	42,9	39,4		
29	1,5	23,0	42,8	40,0		
30	1,5	23,1	43,7	42,2		
\overline{x}		23,07	23,1	43,1	40,4	35,6
s		0,14	0,1	0,5	1,0	

Hodnoty tažností ve směru 90° vůči směru válcování

Vzorek č.	Tloušťka [mm]	A_g [%] z $A_{50\text{ mm}}$	$A_{50\text{ mm}}$ [%]	$A_{80\text{ mm}}$ [%]	$\overline{A_{80\text{ mm}}}$	Rozdíl [%]
11	1,5	23,6	44,5	42,7		
12	1,5	23,6	44,7	44,2		
13	1,5	23,6	45,4	41,5		
14	1,5	23,7	45,8	42,8		
15	1,5	23,7	44,5	42,2		
16	1,5	23,6	45,6	41,4		
17	1,5	24,4	45,6	44,0		
18	1,5	23,3	45,2	45,4		
19	1,5	23,6	45,6	42,6		
20	1,5	23,9	43,9	44,1		
\bar{x}		23,7	45,1	43,1	37,1	-14,0
s		0,3	0,6	1,2		

Průměrné hodnoty tažností

	A_g [%] z $A_{50\text{ mm}}$	$A_{50\text{ mm}}$ [%]	$A_{80\text{ mm}}$ [%]	$\overline{A_{80\text{ mm}}}$	Rozdíl [%]
\bar{x}	23,7	44,7	42,1	36,8	-12,6
s	0,6	1,2	1,2	0,9	1,0

Příloha č. 2: Tabulky výsledků - mechanické vlastnosti

2.1 BTR 165

2.2 Dogal 1000 DPX

2.3 HX420LAD + Z100MB tl. 1,2 mm

2.4 HX420LAD + Z100MB tl. 1,5 mm

2.5 DX54D + Z100MB, tl. 1,2 mm

2.6 DX54D + Z100MB , tl. 1,5 mm

Příloha č. 2: Tabulky výsledků - mechanické vlastnosti

2.1 BTR 165

Hodnoty mechanických vlastností

Rozměr	$A_{50\text{ mm}}$		$A_{80\text{ mm}}$	
Vzorek č.	$R_{p0,2}$ [MPa]	R_m [MPa]	$R_{p0,2}$ [MPa]	R_m [MPa]
1	1047,0	1437,0	1039,2	1301,0
2			1052,4	1488,9
3	1056,2	1473,8	1069,0	1491,6
4				
5			1061,7	1507,1
6			1115,0	1517,0
7			1081,7	1493,0
8	1038,8	1239,6	1121,0	1545,0
9			962,4	1337,6
10			1078,5	1321,3
11			1089,0	1479,3
12			1068,5	1491,1
13				
14	744,9	1030,8	759,9	1035,4
\bar{x}	971,7	1295,3	1041,5	1417,4
s	131,1	176,8	93,3	139,9

2.2 Dogal 1000 DPX

Hodnoty mechanických vlastností ve směru 0° vůči směru válcování

Rozměr	A _{50 mm}		A _{80 mm}	
Vzorek č.	R _{p0,2} [MPa]	R _m [MPa]	R _{p0,2} [MPa]	R _m [MPa]
1	957,2	1130,2	923,0	1089,3
2	967,1	1145,0	925,3	1098,9
3	961,6	1139,5	925,8	1096,7
4	960,1	1137,4	932,0	1103,1
5	982,9	1166,7	948,6	1126,2
6			934,3	1106,4
7	998,8	1176,3	950,6	1118,1
8	992,3	1169,7	959,9	1134,7
9	987,9	1162,8	963,5	1135,5
10	996,9	1180,1	956,4	1127,9
\bar{x}	978,3	1156,4	941,9	1113,7
s	15,8	17,5	14,7	16,0

Hodnoty mechanických vlastností ve směru 45° vůči směru válcování

Rozměr	A _{50 mm}		A _{80 mm}	
Vzorek č.	R _{p0,2} [MPa]	R _m [MPa]	R _{p0,2} [MPa]	R _m [MPa]
21	936,0	1113,5	907,8	1079,9
22	935,2	1109,0	904,4	1074,5
23	939,0	1113,2	903,0	1071,3
24	935,7	1112,4	903,9	1075,1
25			902,6	1073,3
26	938,4	1112,7	897,4	1065,6
27	939,0	1115,2	900,2	1072,6
28	946,4	1124,5	901,4	1072,0
29	943,8	1119,6	900,2	1068,7
30	944,6	1122,2	903,3	1074,0
\bar{x}	939,8	1115,8	902,4	1072,7
s	3,9	4,8	2,7	3,6

Hodnoty mechanických vlastností ve směru 90° vůči směru válcování

Rozměr	A _{50 mm}		A _{80 mm}	
Vzorek č.	R _{p0,2} [MPa]	R _m [MPa]	R _{p0,2} [MPa]	R _m [MPa]
11	956,5	1139,8	919,8	1095,2
12	953,1	1138,0		
13			923,0	1097,9
14			922,6	1099,4
15			925,9	1103,6
16	956,3	1137,5		
17	955,8	1138,0	925,1	1104,3
18			920,8	1099,1
19			917,5	1091,8
20	963,2	1152,8		
\bar{x}	957,0	1141,2	922,1	1098,8
s	3,3	5,8	2,7	4,1

Průměrné hodnoty mechanických vlastností

Rozměr	A _{50 mm}		A _{80 mm}	
	R _{p0,2} [MPa]	R _m [MPa]	R _{p0,2} [MPa]	R _m [MPa]
\bar{x}	958,4	1137,8	922,1	1095,0
s	20,0	21,5	19,3	20,5

2.3 HX420LAD + Z100MB tl. 1,2 mm

Hodnoty mechanických vlastností ve směru 0° vůči směru válcování

Rozměr	A _{50 mm}		A _{80 mm}	
Vzorek č.	R _{p0,2} [MPa]	R _m [MPa]	R _{p0,2} [MPa]	R _m [MPa]
1	436,5	514,2		
2	436,6	511,9	417,5	492,0
3	426,3	500,4	417,0	488,4
4	435,4	510,5	417,7	491,1
5	435,2	512,2	417,2	491,8
6	434,7	508,1	417,3	492,7
7	431,9	505,6	409,8	478,5
8	435,5	514,3	414,8	484,4
9	435,5	514,2	416,6	486,9
10	433,9	514,6	417,7	493,0
\bar{x}	434,2	510,6	416,2	488,8
s	2,9	4,4	2,4	4,6

Hodnoty mechanických vlastností ve směru 45° vůči směru válcování

Rozměr	A _{50 mm}		A _{80 mm}	
Vzorek č.	R _{p0,2} [MPa]	R _m [MPa]	R _{p0,2} [MPa]	R _m [MPa]
21	457,5	502,2	444,9	478,8
22	458,0	501,4	444,4	478,3
23	462,2	503,2	436,2	476,7
24	459,0	499,7	443,2	477,6
25	461,8	501,1	444,2	479,0
26	462,0	500,1	440,3	474,5
27	460,3	497,4	443,8	478,4
28	460,4	498,0	443,5	478,6
29	460,7	500,3	441,6	475,1
30	451,9	499,7	443,3	478,5
\bar{x}	459,4	500,3	442,5	477,5
s	2,9	1,7	2,5	1,5

Hodnoty mechanických vlastností ve směru 90° vůči směru válcování

Rozměr	$A_{50\text{ mm}}$		$A_{80\text{ mm}}$	
Vzorek č.	$R_{p0,2}$ [MPa]	R_m [MPa]	$R_{p0,2}$ [MPa]	R_m [MPa]
11	472,1	521,4	457,0	498,0
12	471,1	517,7	454,6	495,8
13	469,5	508,1	456,9	500,8
14	477,8	520,3	452,9	493,7
15	472,3	516,7	449,8	491,8
16	468,1	507,9	450,8	494,8
17	467,6	508,3	452,6	488,1
18	461,8	512,9	444,8	488,6
19	474,0	507,0	453,3	487,1
20	474,1	518,2	456,4	501,9
\bar{x}	470,8	513,9	452,9	494,1
s	4,2	5,4	3,6	5,0

Průměrné hodnoty mechanických vlastností

Rozměr	$A_{50\text{ mm}}$		$A_{80\text{ mm}}$	
	$R_{p0,2}$ [MPa]	R_m [MPa]	$R_{p0,2}$ [MPa]	R_m [MPa]
\bar{x}	454,8	508,3	437,2	486,8
s	15,7	7,1	15,5	8,0

2.4 HX420LAD + Z100MB tl. 1,5 mm

Hodnoty mechanických vlastností ve směru 0° vůči směru válcování

Rozměr	A _{50 mm}		A _{80 mm}	
Vzorek č.	R _{p0,2} [MPa]	R _m [MPa]	R _{p0,2} [MPa]	R _m [MPa]
1	414,3	526,1	420,1	534,4
2	421,6	532,4	418,9	533,1
3	421,9	533,5	419,8	532,7
4	412,8	524,8	420,7	533,9
5	411,4	526,2	422,4	534,4
6	412,6	527,0	413,4	528,7
7	417,6	527,2	416,1	530,6
8	417,5	529,6	413,2	527,9
9	414,5	528,7	417,0	530,5
10	423,3	535,8	406,9	517,7
\bar{x}	416,8	529,1	416,8	530,4
s	4,1	3,4	4,4	4,8

Hodnoty mechanických vlastností ve směru 45° vůči směru válcování

Rozměr	A _{50 mm}		A _{80 mm}	
Vzorek č.	R _{p0,2} [MPa]	R _m [MPa]	R _{p0,2} [MPa]	R _m [MPa]
21	436,2	522,6	435,9	523,5
22	436,0	521,0	433,5	521,0
23	434,0	519,7	431,4	519,2
24	429,1	518,0	429,2	516,6
25	428,5	519,2	431,2	519,5
26	430,8	519,6	431,8	519,7
27	430,9	519,1	438,1	523,2
28	438,3	525,1	438,0	523,5
29	435,0	524,9	430,1	518,3
30	438,6	523,3	430,2	518,4
\bar{x}	433,7	521,2	432,9	520,3
s	3,5	2,4	3,1	2,3

Hodnoty mechanických vlastností ve směru 90° vůči směru válcování

Rozměr	$A_{50\text{ mm}}$		$A_{80\text{ mm}}$	
Vzorek č.	$R_{p0,2}$ [MPa]	R_m [MPa]	$R_{p0,2}$ [MPa]	R_m [MPa]
11	456,7	550,7	450,9	545,9
12	457,0	551,7	451,3	545,4
13	458,2	552,6	449,0	544,0
14	453,3	547,9	449,7	543,3
15	450,5	545,3	449,9	542,4
16	452,7	547,2	451,3	543,0
17	450,5	546,4	450,7	543,5
18	451,2	545,9	449,4	543,5
19	455,0	549,0	449,4	543,0
20	450,8	546,7	450,4	541,9
\bar{x}	453,6	548,3	450,2	543,6
s	2,8	2,4	0,8	1,2

Průměrné hodnoty mechanických vlastností

Rozměr	$A_{50\text{ mm}}$		$A_{80\text{ mm}}$	
	$R_{p0,2}$ [MPa]	R_m [MPa]	$R_{p0,2}$ [MPa]	R_m [MPa]
\bar{x}	434,7	532,9	433,3	531,4
s	15,5	11,7	14,0	10,0

2.5 DX54D + Z100MB, tl. 1,2 mm

Hodnoty mechanických vlastností ve směru 0° vůči směru válcování

Rozměr	A _{50 mm}		A _{80 mm}	
Vzorek č.	R _{p0,2} [MPa]	R _m [MPa]	R _{p0,2} [MPa]	R _m [MPa]
1	174,0	300,3	166,4	297,1
2	170,6	298,0	167,9	297,6
3	171,5	299,4	167,1	295,8
4	170,8	298,2	167,1	296,0
5	174,3	301,8	172,2	302,9
6	175,2	302,0	171,4	300,0
7	175,5	304,0	170,8	300,0
8	175,1	302,0	170,9	300,3
9	170,6	298,5	168,9	298,2
10	174,4	301,7	169,4	299,4
\bar{x}	173,2	300,6	169,2	298,7
s	2,0	1,9	2,0	2,1

Hodnoty mechanických vlastností ve směru 45° vůči směru válcování

Rozměr	A _{50 mm}		A _{80 mm}	
Vzorek č.	R _{p0,2} [MPa]	R _m [MPa]	R _{p0,2} [MPa]	R _m [MPa]
21	182,9	311,6	186,6	313,2
22	182,3	310,7		
23	180,3	306,5	180,8	308,8
24	180,4	306,4	179,2	304,6
25	180,6	307,3	181,5	309,8
26	181,5	309,4	179,5	305,1
27	182,0	310,3	180,8	308,1
28	182,1	310,8	180,4	307,4
29	183,7	312,2	180,7	308,6
30	183,4	311,3	180,1	307,2
\bar{x}	181,9	309,7	181,1	308,1
s	1,2	2,0	2,1	2,4

Hodnoty mechanických vlastností ve směru 90° vůči směru válcování

Rozměr	A _{50 mm}		A _{80 mm}	
Vzorek č.	R _{p0,2} [MPa]	R _m [MPa]	R _{p0,2} [MPa]	R _m [MPa]
11	178,7	298,9	180,7	297,0
12	178,8	296,9	180,0	296,8
13	185,3	300,8	175,0	292,9
14	185,4	300,1	175,4	293,0
15	184,4	298,8	181,8	296,7
16	178,6	296,5	175,8	294,8
17	181,9	298,6	175,7	294,5
18	184,3	299,1	182,3	297,7
19	178,1	294,8	182,9	298,2
20	182,0	298,9	175,4	293,3
\bar{x}	181,8	298,3	178,5	295,5
s	2,8	1,7	3,1	1,9

Průměrné hodnoty mechanických vlastností

Rozměr	A _{50 mm}		A _{80 mm}	
	R _{p0,2} [MPa]	R _m [MPa]	R _{p0,2} [MPa]	R _m [MPa]
\bar{x}	179,0	302,9	176,3	300,8
s	4,6	5,3	5,7	5,7

2.6 DX54D + Z100MB , tl. 1,5 mm

Hodnoty mechanických vlastností ve směru 0° vůči směru válcování

Rozměr	$A_{50\text{ mm}}$		$A_{80\text{ mm}}$	
Vzorek č.	$R_{p0,2}$ [MPa]	R_m [MPa]	$R_{p0,2}$ [MPa]	R_m [MPa]
1	180,2	296,8	168,1	291,7
2	179,9	297,1	173,2	293,0
3	180,6	296,2	174,1	291,3
4	179,9	297,2	172,0	290,9
5	179,8	296,8	174,1	292,1
6	179,3	296,5	175,0	292,6
7	179,5	296,6	175,4	293,6
8	180,2	296,4	170,8	291,6
9	179,6	296,7	167,1	291,5
10	179,7	296,6	176,2	292,9
\bar{x}	179,9	296,7	172,6	292,1
s	0,4	0,3	2,9	0,8

Hodnoty mechanických vlastností ve směru 45° vůči směru válcování

Rozměr	$A_{50\text{ mm}}$		$A_{80\text{ mm}}$	
Vzorek č.	$R_{p0,2}$ [MPa]	R_m [MPa]	$R_{p0,2}$ [MPa]	R_m [MPa]
21	187,9	299,7	193,4	305,3
22	191,4	305,0	190,5	301,9
23	190,0	302,4	191,0	303,6
24	189,6	302,4	191,3	305,2
25	187,4	298,7	192,8	305,6
26	194,5	307,8	192,8	306,4
27	193,3	305,2	189,7	300,9
28	193,7	306,4	192,3	304,7
29	195,0	307,1	192,4	304,7
30	192,8	307,0	191,8	304,1
\bar{x}	191,6	304,2	191,8	304,2
s	2,6	3,1	1,1	1,6

Hodnoty mechanických vlastností ve směru 90° vůči směru válcování

Rozměr	$A_{50\text{ mm}}$		$A_{80\text{ mm}}$	
Vzorek č.	$R_{p0,2}$ [MPa]	R_m [MPa]	$R_{p0,2}$ [MPa]	R_m [MPa]
11	186,3	291,0	187,1	294,0
12	189,5	295,5	186,6	293,7
13	190,3	295,9	190,1	294,6
14	189,5	295,2	188,6	294,7
15	187,6	295,5	188,9	294,8
16	189,3	295,4	189,9	294,8
17	189,0	295,2	187,9	294,1
18	188,4	293,8	187,5	294,1
19	186,4	292,1	186,5	293,9
20	188,0	293,6	186,6	293,9
\bar{x}	188,4	294,3	188,0	294,3
s	1,3	1,6	1,3	0,4

Průměrné hodnoty mechanických vlastností

Rozměr	$A_{50\text{ mm}}$		$A_{80\text{ mm}}$	
	$R_{p0,2}$ [MPa]	R_m [MPa]	$R_{p0,2}$ [MPa]	R_m [MPa]
\bar{x}	186,6	298,4	184,1	296,9
s	5,2	4,6	8,5	5,4

Příloha č. 3: Protokoly ze zkoušky tahem

BTR 165, A_{50 mm}, tl. 1,2 mm

BTR 165, A_{80 mm}, tl. 1,2 mm

DOGAL 1000 DPX, A_{50 mm}, tl. 1,5 mm

DOGAL 1000 DPX, A_{80 mm}, tl. 1,5 mm

HX420LAD + Z100MB, A_{50 mm}, tl. 1,2 mm

HX420LAD + Z100MB, A_{80 mm}, tl. 1,2 mm

HX420LAD + Z100MB, A_{50 mm}, tl. 1,5 mm

HX420LAD + Z100MB, A_{80 mm}, tl. 1,5 mm

DX54D + Z100MB, A_{50 mm}, tl. 1,2 mm

DX54D + Z100MB, A_{80 mm}, tl. 1,2 mm

DX54D + Z100MB, A_{50 mm}, tl. 1,5 mm

DX54D + Z100MB, A_{80 mm}, tl. 1,5 mm

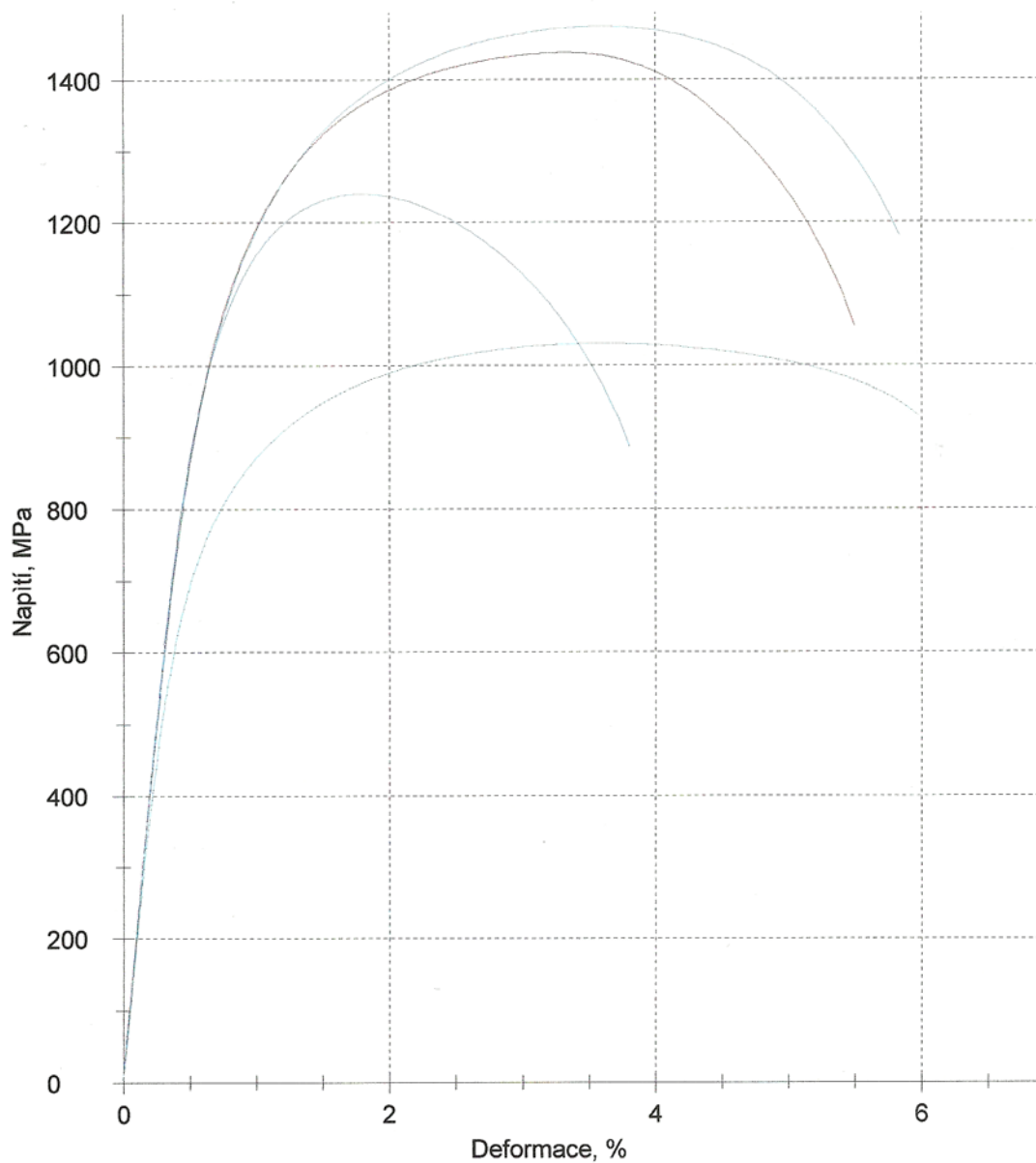
Zk. parametry:

Zákazník : H. Kupilíková
 Zkoušel(a) : H. Kupilíková
 Norma : EN ISO 6892-1
 Materiál : BTR165_A50_tl. 1,2
 Snímač síly : GTM 250KN
 Průtahoměr, snímač dráhy : Zwick/Roell BTC-EXMULTI.010
 Upínací čelisti : Zwick/Roell B8803.00.00
 Zkušební systém :

Výsledky:

Legenda	Nr	a0 mm	b0 mm	S0 mm ²	L0 mm	Rp 0,2 MPa	Rm MPa	Ag %	A _{50 mm} %	A _{80 mm} %
	1	1,2	11,9	14,28	50,00	1046,99	1437,02	2,62	4,98	4,10
	†2	1,2	11,9	14,28	50,00	1074,22	1496,82	3,31	3,52	3,44
	3	1,2	11,9	14,28	50,00	1056,21	1473,81	2,86	5,24	4,34
	†4	1,2	11,9	14,28	50,00	1042,91	1506,17	3,38	3,51	3,47
	†5	1,2	11,9	14,28	50,00	1198,87	1606,53	2,54	2,62	2,59
	†6	1,2	11,9	14,28	50,00	1104,82	1499,39	3,10	3,27	3,21
	†7	1,2	11,9	14,28	50,00	1077,64	1463,13	2,94	3,04	3,00
	8	1,2	11,9	14,28	50,00	1038,77	1239,61	1,18	3,36	2,54
	†9	1,2	11,9	14,28	50,00	1148,64	1542,35	2,58	2,77	2,70
	†10	1,2	11,9	14,28	50,00	1142,28	1555,62	2,83	2,92	2,88
	†11	1,2	11,9	14,28	50,00	1055,74	1055,78	0,20	0,21	0,21
	†12	1,2	11,9	14,28	50,00	1008,61	1409,77	2,47	2,51	2,49
	†13	1,2	11,9	14,28	50,00	1036,84	1153,91	0,53	0,65	0,60
	14	1,2	11,9	14,28	50,00	744,91	1030,77	3,02	5,48	4,56

Grafické záznamy zkoušek:



Statistika:













Série n = 4	S0 mm ²	L0 mm	Rp 0,2 MPa	Rm MPa	Ag %	A _{50 mm} %	A _{80 mm} %
\bar{x}	14,28	50,00	971,72	1295,30	2,42	4,77	3,89
s	0,00	0,00	151,37	204,14	0,84	0,96	0,91
v	0,00	0,00	15,58	15,76	34,83	20,09	23,53

Zwick / Roell Standardní protokol

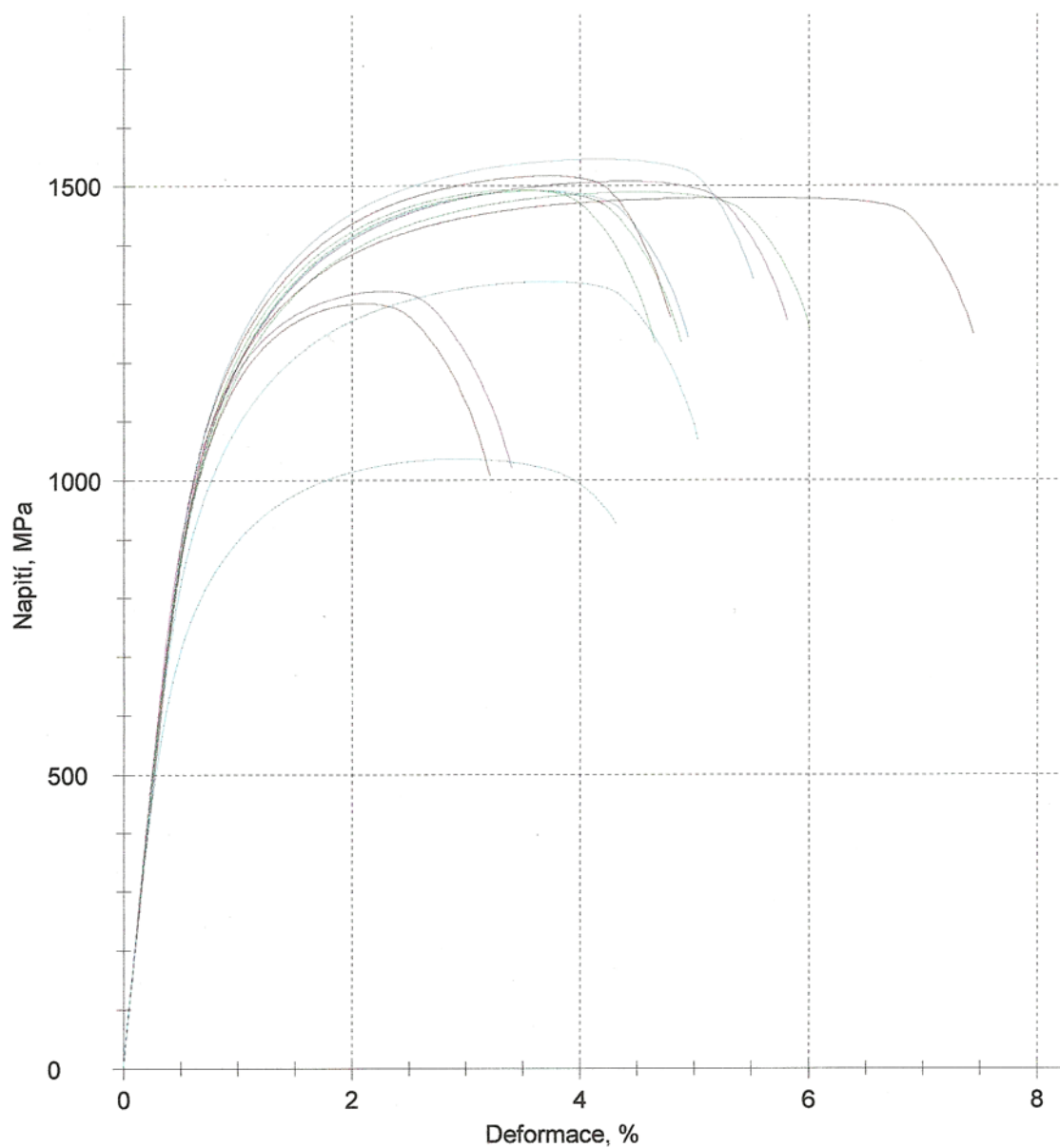
Zk. parametry:

Zákazník : H. Kupilíková
 Zkoušel(a) : H. Kupilíková
 Norma : EN ISO 6892-1
 Materiál : BTR165_A80_tl. 1,2 mm
 Snímač síly : GTM 250KN
 Průtahoměr, snímač dráhy : Zwick/Roell BTC-EXMULTI.010
 Upínací čelisti : Zwick/Roell B8803.00.00
 Zkušební systém :

Výsledky:

Legenda	Nr	a0 mm	b0 mm	S0 mm ²	L0 mm	Rp 0,2 MPa	Rm MPa	Ag %	A50 mm %	A80 mm %
	1	1,2	19,5	23,40	80,00	1039,21	1300,96	1,46	3,46	2,71
	2	1,2	19,5	23,40	80,00	1052,41	1488,94	3,72	6,36	5,37
	3	1,2	19,5	23,40	80,00	1068,96	1491,59	2,88	5,18	4,32
	†4	1,2	19,5	23,40	80,00	940,50	994,36	0,42	0,49	0,46
	5	1,2	19,5	23,40	80,00	1061,71	1507,11	3,65	6,09	5,17
	6	1,2	19,5	23,40	80,00	1115,04	1516,97	2,94	4,85	4,13
	7	1,2	19,5	23,40	80,00	1081,66	1493,03	2,70	4,82	4,03
	8	1,2	19,5	23,40	80,00	1121,00	1545,04	3,38	5,70	4,83
	9	1,2	19,5	23,40	80,00	962,36	1337,58	3,01	5,36	4,48
	10	1,2	19,5	23,40	80,00	1078,49	1321,26	1,61	3,65	2,88
	11	1,2	19,5	23,40	80,00	1089,03	1479,26	4,71	8,05	6,80
	12	1,2	19,5	23,40	80,00	1068,48	1491,11	2,79	5,13	4,25
	†13	1,2	19,5	23,40	80,00	958,30	1360,92	2,86	2,99	2,94
	14	1,2	19,5	23,40	80,00	759,94	1035,44	2,39	4,71	3,84

Grafické záznamy zkoušek:



Statistika:

Série n = 12	S0 mm ²	L0 mm	Rp 0,2 MPa	Rm MPa	Ag %	A _{50 mm} %	A _{80 mm} %
x	23,40	80,00	1041,52	1417,36	2,94	5,28	4,40
s	0,00	0,00	97,48	146,14	0,89	1,22	1,10
v	0,00	0,00	9,36	10,31	30,46	23,16	24,90

Zk. parametry:

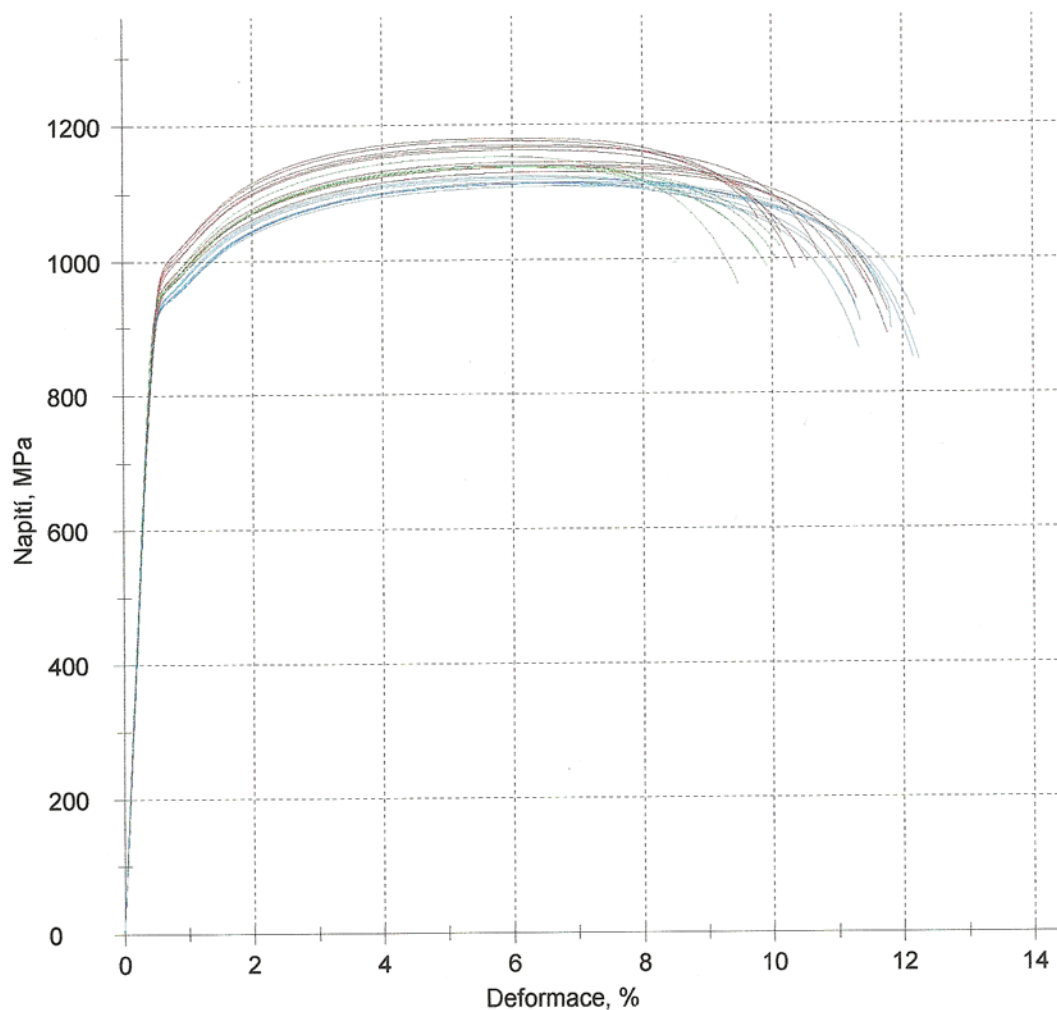
Zákazník : H. Kupilíková
 Zkoušel(a) : H. Kupilíková
 Norma : EN ISO 6892-1
 Materiál : DOGAL 1000DPX_A50_tl. 1,5mm
 Snímač síly : GTM/K_250KN/51038
 Průtahoměr, snímač dráhy: BTC-EXMULTI.001_010
 Upínací čelisti : ZWICK/ROELL_B 8803.00.00
 Zkušební systém : Řízení v.č.: 173358
 Příčník v.č.: 173358
 Síla v.č.: 173359 250 kN
 MultiXtens v.č.: 173363

Výsledky:

Legenda	Nr	a0 mm	b0 mm	S0 mm ²	L0 mm	Rp 0,2 MPa	Rm MPa	Ag %	A50 mm %	A80 mm %
	1	1,45	12,1	17,55	50,00	957,20	1130,16	6,25	11,32	9,42
	2	1,45	12,1	17,55	50,00	967,14	1145,03	5,83	10,84	8,96
	3	1,45	12,1	17,55	50,00	961,58	1139,48	5,88	11,31	9,27
	4	1,45	12,1	17,55	50,00	960,06	1137,44	5,96	11,03	9,13
	5	1,45	12,1	17,55	50,00	982,85	1166,71	5,52	10,22	8,46
	7	1,45	12,1	17,55	50,00	998,82	1176,30	5,28	9,26	7,77
	8	1,45	12,1	17,55	50,00	992,30	1169,70	5,49	9,62	8,07
	9	1,45	12,1	17,55	50,00	987,93	1162,79	5,39	10,05	8,30
	10	1,45	12,1	17,55	50,00	996,86	1180,14	5,27	9,88	8,15
	11	1,45	12,1	17,55	50,00	956,50	1139,82	5,42	9,46	7,94
	12	1,45	12,1	17,55	50,00	953,05	1138,01	5,76	9,65	8,19
	16	1,45	12,1	17,55	50,00	956,32	1137,47	5,37	9,32	7,84
	17	1,45	12,1	17,55	50,00	955,84	1137,99	5,66	9,62	8,13
	20	1,45	12,1	17,55	50,00	963,15	1152,75	5,25	9,02	7,60
	21	1,45	12,1	17,55	50,00	936,02	1113,52	6,12	11,73	9,63
	22	1,45	12,1	17,55	50,00	935,15	1109,01	6,13	11,84	9,70
	23	1,45	12,1	17,55	50,00	938,97	1113,16	5,78	10,89	8,97
	24	1,45	12,1	17,55	50,00	935,67	1112,35	5,79	10,90	8,98
	26	1,45	12,1	17,55	50,00	938,39	1112,74	6,00	10,81	9,00
	27	1,45	12,1	17,55	50,00	939,00	1115,20	5,97	11,20	9,24
	28	1,45	12,1	17,55	50,00	946,40	1124,50	5,76	11,25	9,20
	29	1,45	12,1	17,55	50,00	943,76	1119,58	5,83	11,74	9,52
	30	1,45	12,1	17,55	50,00	944,57	1122,17	5,72	11,37	9,25

Vzorek č.: 1-10_0°
 11-20_90°
 21-30_45°

Grafické záznamy zkoušek:



Statistika:

Série n = 23	S0 mm ²	L0 mm	Rp 0,2 MPa	Rm MPa	Ag %	A _{50 mm} %	A _{80 mm} %
x	17,55	50,00	958,59	1137,22	5,72	10,54	8,73
s	0,00	0,00	20,39	22,00	0,29	0,90	0,66
v	0,00	0,00	2,13	1,93	5,15	8,57	7,56

Zk. parametry:

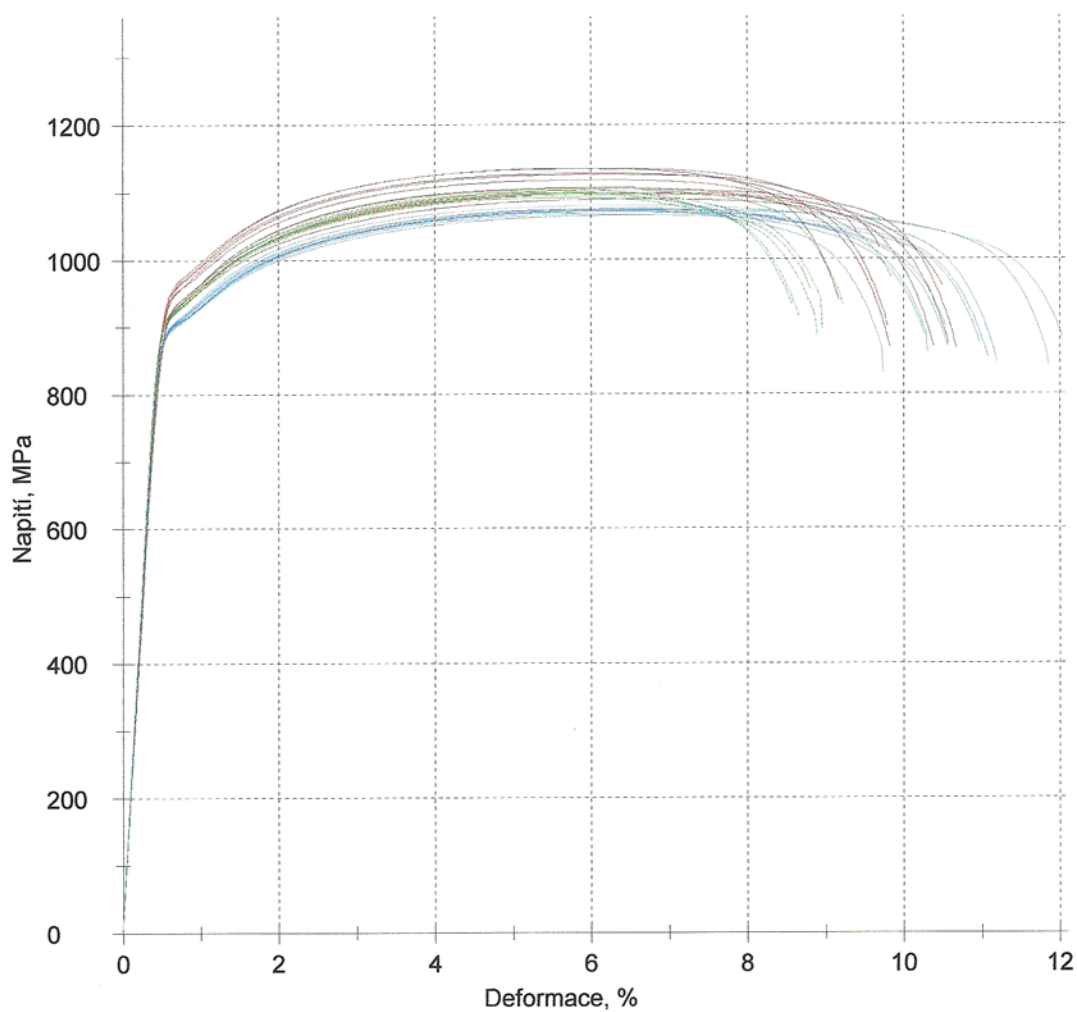
Zákazník : H. Kupíliková
 Zkoušel(a) : H. Kupíliková
 Norma : EN ISO 6892-1
 Materiál : DOGAL 1000 DPX_A80_tl. 1,5 mm
 Snímač síly : GTM/K_250KN/51038
 Průtahoměr, snímač dráhy: BTC-EXMULTI.001_010
 Upínací čelisti : ZWICK/ROELL_B 8803.00.00
 Zkušební systém : Řízení v.č.: 173358
 Příčnick v.č.: 173358
 Síla v.č.: 173359 250 kN
 MultiXtens v.č.: 173363

Výsledky:

Legenda	Nr	a0 mm	b0 mm	S0 mm ²	L0 mm	Rp 0,2 MPa	Rm MPa	Ag %	A _{50 mm} %	A _{80 mm} %
	1	1,5	19,3	28,95	80,00	922,99	1089,27	6,09	12,54	10,13
	2	1,5	19,3	28,95	80,00	925,25	1098,88	5,94	12,45	10,01
	3	1,5	19,3	28,95	80,00	925,76	1096,65	5,89	12,38	9,95
	4	1,5	19,3	28,95	80,00	931,99	1103,13	5,71	12,95	10,23
	5	1,5	19,3	28,95	80,00	948,55	1126,20	5,60	11,32	9,17
	6	1,5	19,3	28,95	80,00	934,25	1106,39	5,50	11,68	9,36
	7	1,5	19,3	28,95	80,00	950,57	1118,06	5,42	11,69	9,34
	8	1,5	19,3	28,95	80,00	959,90	1134,69	5,21	10,77	8,69
	9	1,5	19,3	28,95	80,00	963,49	1135,51	5,29	11,01	8,87
	10	1,5	19,3	28,95	80,00	956,39	1127,87	5,41	10,12	8,36
	11	1,5	19,3	28,95	80,00	919,76	1095,24	5,19	10,22	8,33
	†12	1,5	19,3	28,95	80,00	941,88	1121,45	3,82	7,88	6,36
	13	1,5	19,3	28,95	80,00	923,01	1097,87	5,09	10,08	8,21
	14	1,5	19,3	28,95	80,00	922,55	1099,41	5,34	10,43	8,52
	15	1,5	19,3	28,95	80,00	925,86	1103,62	5,39	10,81	8,78
	†16	1,5	19,3	28,95	80,00	953,54	1144,52	4,45	8,78	7,15
	17	1,5	19,3	28,95	80,00	925,11	1104,26	4,97	9,99	8,11
	18	1,5	19,3	28,95	80,00	920,77	1099,12	5,59	11,63	9,37
	19	1,5	19,3	28,95	80,00	917,51	1091,75	5,08	10,48	8,46
	†20	1,5	19,3	28,95	80,00	942,86	1123,87	3,64	6,69	5,55
	21	1,5	19,3	28,95	80,00	907,77	1079,89	5,87	13,68	10,75
	22	1,5	19,3	28,95	80,00	904,39	1074,53	5,38	11,68	9,32
	23	1,5	19,3	28,95	80,00	903,00	1071,30	5,69	12,31	9,82
	24	1,5	19,3	28,95	80,00	903,87	1075,10	5,97	12,20	9,87
	25	1,5	19,3	28,95	80,00	902,60	1073,33	5,79	12,71	10,12
	26	1,5	19,3	28,95	80,00	897,41	1065,64	6,01	13,24	10,53
	27	1,5	19,3	28,95	80,00	900,20	1072,55	5,98	12,54	10,08
	28	1,5	19,3	28,95	80,00	901,36	1072,00	6,22	14,55	11,42
	29	1,5	19,3	28,95	80,00	900,15	1068,72	6,03	13,42	10,65
	30	1,5	19,3	28,95	80,00	903,33	1074,00	6,15	14,85	11,59

Vzorek č.: 1-10_0°
11-20_90°
21-30_45°

Grafické záznamy zkoušek:



Statistika:

Série n = 27	S0 mm ²	L0 mm	Rp 0,2 MPa	Rm MPa	Ag %	A _{50 mm} %	A _{80 mm} %
x	28,95	80,00	922,14	1094,63	5,62	11,92	9,56
s	0,00	0,00	19,71	20,90	0,36	1,35	0,97
v	0,00	0,00	2,14	1,91	6,48	11,31	10,13

Zk. parametry:

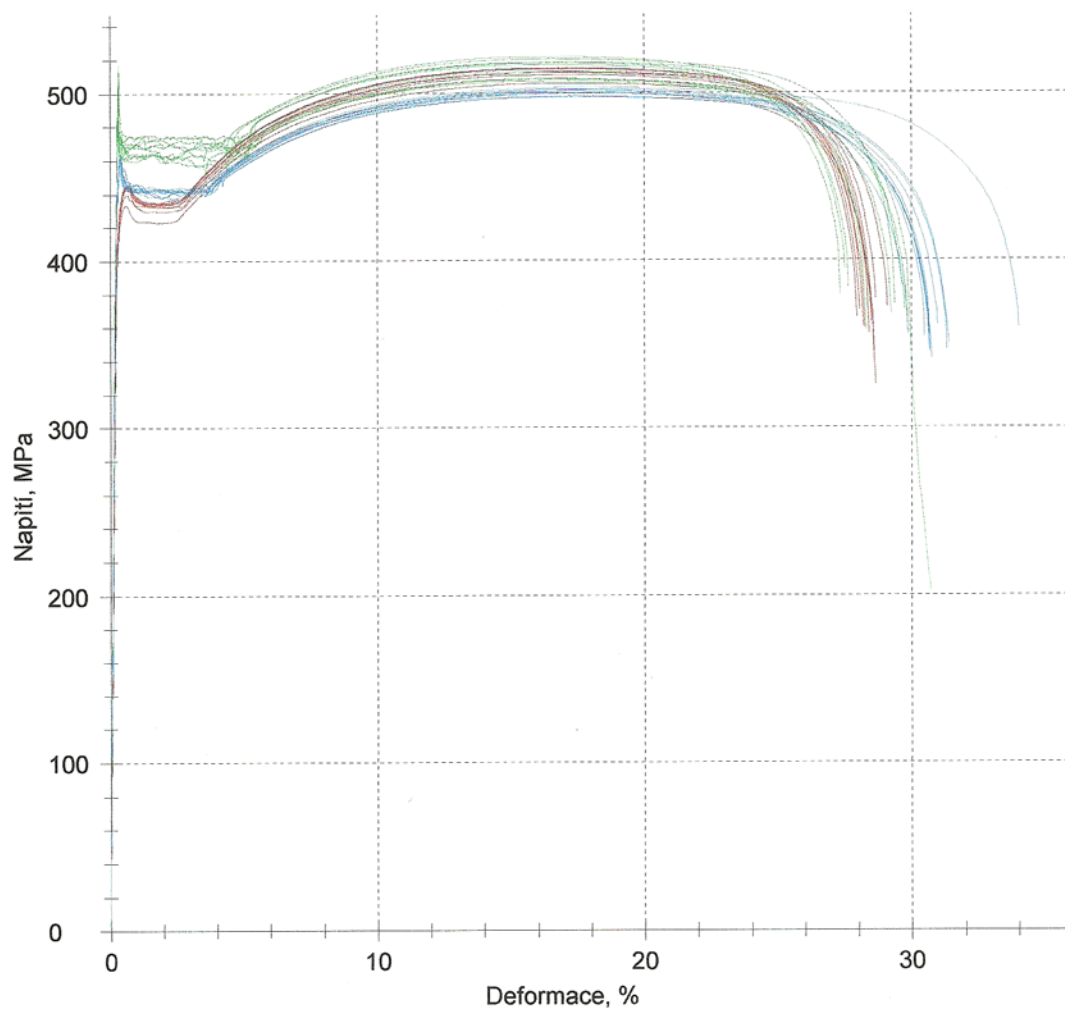
Zákazník : H. Kupilíková
 Zkoušel(a) : H. Kupilíková
 Norma : EN ISO 6892-1
 Materiál : HX420LAD + Z100MB_A50_tl. 1,2 mm
 Snímač síly : GTM/K_250KN/51038
 Průtahoměr, snímač dráhy: BTC-EXMULTI.001_010
 Upínací čelisti : ZWICK/ROELL_B 8803.00.00
 Zkušební systém : Řízení v.č.: 173358
 Příčnick v.č.: 173358
 Síla v.č.: 173359 250 kN
 MultiXtens v.č.: 173363

Výsledky:

Legenda	Nr	a0 mm	b0 mm	S0 mm ²	L0 mm	Rp 0,2 MPa	Rm MPa	Ag %	A50 mm %	A80 mm %
	1	1,2	12,22	14,66	50,00	436,54	514,23	16,37	28,46	23,93
	2	1,2	12,22	14,66	50,00	436,56	511,92	16,45	27,60	23,42
	3	1,2	12,22	14,66	50,00	426,32	500,36	15,96	27,87	23,41
	4	1,2	12,22	14,66	50,00	435,40	510,53	16,43	27,76	23,51
	5	1,2	12,22	14,66	50,00	435,22	512,19	17,17	28,43	24,21
	6	1,2	12,22	14,66	50,00	434,71	508,13	16,49	27,96	23,66
	7	1,2	12,22	14,66	50,00	431,89	505,63	17,07	28,48	24,20
	8	1,2	12,22	14,66	50,00	435,53	514,32	16,83	27,74	23,64
	9	1,2	12,22	14,66	50,00	435,54	514,17	16,40	27,43	23,30
	10	1,2	12,22	14,66	50,00	433,94	514,64	16,85	28,00	23,82
	11	1,2	12,22	14,66	50,00	472,10	521,43	16,14	26,89	22,86
	12	1,2	12,22	14,66	50,00	471,11	517,67	16,48	27,13	23,14
	13	1,2	12,22	14,66	50,00	469,48	508,11	16,47	30,59	25,29
	14	1,2	12,22	14,66	50,00	477,75	520,25	16,36	29,18	24,37
	15	1,2	12,22	14,66	50,00	472,30	516,68	16,19	27,05	22,98
	16	1,2	12,25	14,70	50,00	468,07	507,91	16,24	28,67	24,01
	17	1,2	12,22	14,66	50,00	467,59	508,33	16,33	28,24	23,77
	18	1,2	12,22	14,66	50,00	461,76	512,93	16,66	29,56	24,72
	19	1,2	12,22	14,66	50,00	474,02	507,01	16,39	29,68	24,70
	20	1,2	12,22	14,66	50,00	474,14	518,15	16,93	28,13	23,93
	21	1,2	12,22	14,66	50,00	457,50	502,19	17,19	30,52	25,52
	22	1,2	12,22	14,66	50,00	457,98	501,44	17,11	30,30	25,35
	23	1,2	12,22	14,66	50,00	462,24	503,15	17,06	33,26	27,19
	24	1,2	12,22	14,66	50,00	458,99	499,68	17,55	30,49	25,64
	25	1,2	12,22	14,66	50,00	461,78	501,11	16,89	31,14	25,79
	26	1,2	12,22	14,66	50,00	462,00	500,14	17,45	30,77	25,78
	27	1,2	12,22	14,66	50,00	460,29	497,44	17,34	30,57	25,61
	28	1,2	12,22	14,66	50,00	460,41	497,97	17,19	30,47	25,49
	29	1,2	12,22	14,66	50,00	460,74	500,34	17,00	29,67	24,92
	30	1,2	12,22	14,66	50,00	451,90	499,68	17,75	31,23	26,17

Vzorek č.: 1-10_0°
11-20_90°
21-30_45°

Grafické záznamy zkoušek:



Statistika:

Série n = 30	S0 mm ²	L0 mm	Rp 0,2 MPa	Rm MPa	Ag %	A _{50 mm} %	A _{80 mm} %
\bar{x}	14,67	50,00	454,79	508,26	16,76	29,11	24,48
s	0,01	0,00	15,96	7,21	0,46	1,55	1,09
v	0,04	0,00	3,51	1,42	2,76	5,34	4,47

Zk. parametry:

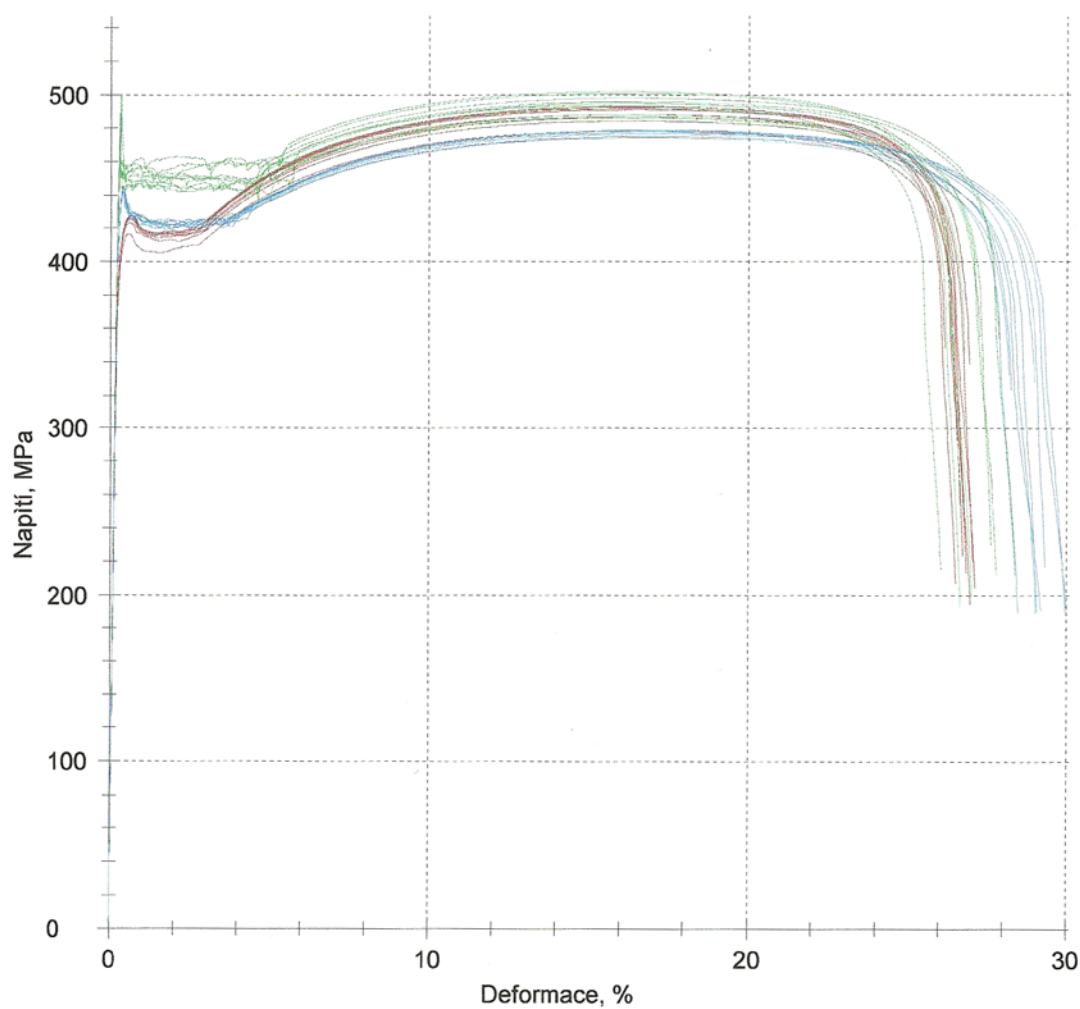
Zákazník : H. Kupilíková
 Zkoušel(a) : H. Kupilíková
 Norma : EN ISO 6892-1
 Materiál : HX420LAD + Z100MB_A80_tl. 1,2 mm
 Snímač síly : GTM/K_250KN/51038
 Průtahoměr, snímač dráhy: BTC-EXMULTI.001_010
 Upínací čelisti : ZWICK/ROELL_B 8803.00.00
 Zkušební systém : Řízení v.č.: 173358
 Příčnick v.č.: 173358
 Síla v.č.: 173359 250 kN
 MultiXtens v.č.: 173363

Výsledky:

Legenda	Nr	a0 mm	b0 mm	S0 mm ²	L0 mm	Rp 0,2 MPa	Rm MPa	Ag %	A _{50 mm} %	A _{80 mm} %
	2	1,25	19,5	24,38	80,00	417,48	492,03	15,83	32,77	26,42
	3	1,25	19,5	24,38	80,00	417,00	488,36	16,24	33,26	26,88
	4	1,25	19,5	24,38	80,00	417,71	491,11	16,27	32,99	26,72
	5	1,25	19,5	24,38	80,00	417,21	491,78	16,37	33,41	27,02
	6	1,25	19,5	24,38	80,00	417,34	492,69	16,38	32,80	26,64
	7	1,25	19,5	24,38	80,00	409,80	478,46	16,07	33,16	26,75
	8	1,25	19,5	24,38	80,00	414,80	484,42	15,82	33,62	26,94
	9	1,25	19,5	24,38	80,00	416,61	486,88	16,10	33,17	26,77
	10	1,25	19,5	24,38	80,00	417,66	492,99	16,06	31,98	26,01
	11	1,25	19,5	24,38	80,00	456,95	498,04	15,84	34,83	27,71
	12	1,25	19,5	24,38	80,00	454,61	495,75	16,01	35,63	28,27
	13	1,25	19,5	24,38	80,00	456,92	500,82	15,80	33,59	26,92
	14	1,25	19,5	24,38	80,00	452,87	493,68	15,24	32,39	25,96
	15	1,25	19,5	24,38	80,00	449,79	491,82	15,83	34,51	27,51
	16	1,25	19,5	24,38	80,00	450,81	494,78	15,99	34,72	27,70
	17	1,25	19,5	24,38	80,00	452,61	488,08	0,10	37,70	23,60
	18	1,25	19,5	24,38	80,00	444,75	488,56	0,10	37,23	23,31
	19	1,25	19,5	24,38	80,00	453,31	487,06	15,94	33,03	26,62
	20	1,25	19,5	24,38	80,00	456,44	501,89	15,66	33,06	26,53
	21	1,25	19,5	24,38	80,00	444,88	478,75	16,69	36,35	28,98
	22	1,25	19,5	24,38	80,00	444,39	478,30	16,55	36,63	29,10
	23	1,25	19,5	24,38	80,00	436,23	476,66	17,17	37,45	29,85
	24	1,25	19,5	24,38	80,00	443,18	477,62	16,62	36,77	29,21
	25	1,25	19,5	24,38	80,00	444,19	478,97	16,82	34,84	28,08
	26	1,25	19,5	24,38	80,00	440,27	474,51	16,39	34,97	28,00
	27	1,25	19,5	24,38	80,00	443,77	478,39	16,79	36,03	28,82
	28	1,25	19,5	24,38	80,00	443,47	478,56	16,63	37,86	29,90
	29	1,25	19,5	24,38	80,00	441,64	475,11	16,59	36,36	28,94
	30	1,25	19,5	24,38	80,00	443,26	478,47	16,77	35,35	28,38

Vzorek č.: 1-10_0°
 11-20_90°
 21-30_45°

Grafické záznamy zkoušek:



Statistika:





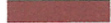




















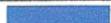




Série n = 29	S0 mm ²	L0 mm	Rp 0,2 MPa	Rm MPa	Ag %	A _{50 mm} %	A _{80 mm} %
\bar{x}	24,38	80,00	437,93	486,71	15,13	34,71	27,36
s	0,00	0,00	15,76	8,18	4,18	1,78	1,56
v	0,00	0,00	3,60	1,68	27,66	5,14	5,71

Zwick / Roell Standardní protokol

Zk. parametry:

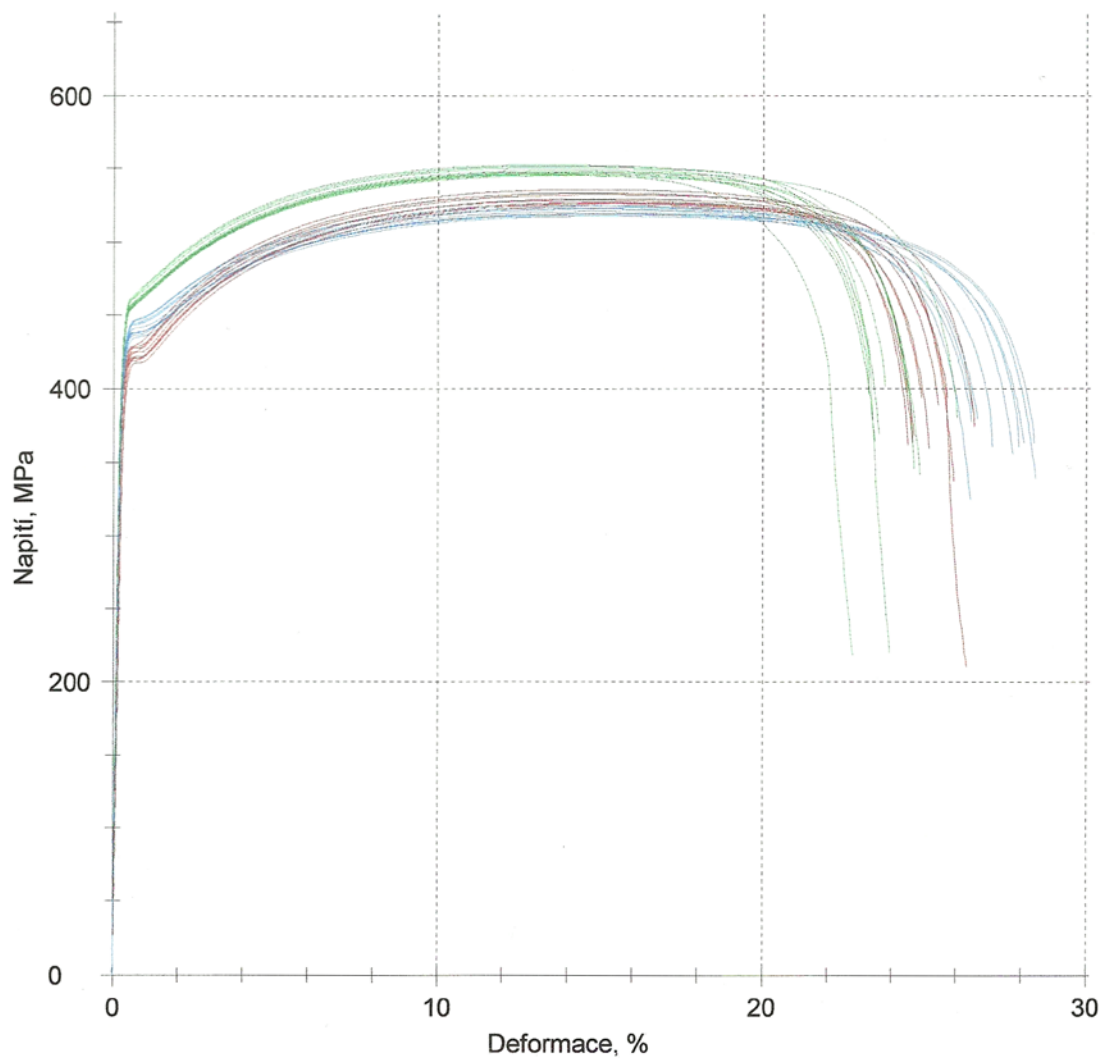
Zákazník : H. Kupilíková
 Zkoušel(a) : H. Kupilíková
 Norma : EN ISO 6892-1
 Materiál : HX420LAD + Z100MB_A50_tl. 1,5 mm
 Snímač síly : GTM/K_250KN/51038
 Průtahoměr, snímač dráhy : BTC-EXMULTI.001_010
 Upínací čelisti : ZWICK/ROELL_B 8803.00.00
 Zkušební systém :

Výsledky:

Legenda	Nr	a0 mm	b0 mm	S0 mm ²	L0 mm	Rp 0,2 MPa	Rm MPa	Ag %	A50 mm %	A80 mm %
	1	1,5	12,4	18,60	50,00	414,25	526,12	14,90	25,23	21,35
	2	1,5	12,4	18,60	50,00	421,61	532,35	14,75	25,74	21,62
	3	1,5	12,4	18,60	50,00	421,93	533,46	14,37	24,31	20,58
	4	1,5	12,4	18,60	50,00	412,78	524,78	14,81	25,41	21,43
	5	1,5	12,4	18,60	50,00	411,41	526,22	14,97	26,36	22,09
	6	1,5	12,4	18,60	50,00	412,63	526,95	14,86	24,95	21,17
	7	1,5	12,4	18,60	50,00	417,55	527,23	15,01	26,14	21,97
	8	1,5	12,4	18,60	50,00	417,54	529,61	14,35	24,32	20,58
	9	1,5	12,4	18,60	50,00	414,52	528,73	14,56	24,47	20,75
	10	1,5	12,4	18,60	50,00	423,33	535,78	14,55	24,42	20,72
	11	1,5	12,4	18,60	50,00	456,73	550,69	13,21	23,83	19,85
	12	1,5	12,4	18,60	50,00	456,98	551,72	13,04	23,89	19,82
	13	1,5	12,4	18,60	50,00	458,19	552,60	13,38	24,10	20,08
	14	1,5	12,4	18,60	50,00	453,33	547,91	13,48	24,68	20,48
	15	1,5	12,4	18,60	50,00	450,54	545,28	13,56	23,19	19,58
	16	1,5	12,4	18,60	50,00	452,68	547,18	13,64	23,29	19,67
	17	1,5	12,4	18,60	50,00	450,45	546,43	13,54	24,54	20,41
	18	1,5	12,4	18,60	50,00	451,15	545,87	13,11	22,65	19,07
	19	1,5	12,4	18,60	50,00	454,98	548,95	13,28	25,79	21,10
	20	1,5	12,4	18,60	50,00	450,81	546,70	13,41	23,08	19,45
	21	1,5	12,4	18,60	50,00	436,21	522,62	14,19	26,26	21,74
	22	1,5	12,4	18,60	50,00	435,99	520,99	14,51	26,89	22,24
	23	1,5	12,4	18,60	50,00	433,97	519,65	15,01	27,68	22,93
	24	1,5	12,4	18,60	50,00	429,10	518,02	14,51	27,84	22,84
	25	1,5	12,4	18,60	50,00	428,51	519,17	14,75	28,21	23,16
	26	1,5	12,4	18,60	50,00	430,77	519,63	14,71	26,26	21,93
	27	1,5	12,4	18,60	50,00	430,89	519,07	14,91	28,27	23,26
	28	1,5	12,4	18,60	50,00	438,27	525,05	14,02	26,23	21,65
	29	1,5	12,4	18,60	50,00	435,01	524,87	14,20	26,44	21,85
	30	1,5	12,4	18,60	50,00	438,59	523,34	14,16	27,50	22,49

Vzorek č.: 1-10_0°
 11-20_90°
 21-30_45°

Grafické záznamy zkoušek:



Statistika:

Série n = 30	S0 mm ²	L0 mm	Rp 0,2 MPa	Rm MPa	Ag %	A50 mm %	A80 mm %
\bar{x}	18,60	50,00	434,69	532,90	14,19	25,40	21,20
s	0,00	0,00	15,72	11,92	0,66	1,59	1,17
v	0,00	0,00	3,62	2,24	4,62	6,26	5,51

Zwick / Roell Standardní protokol

Zk. parametry:

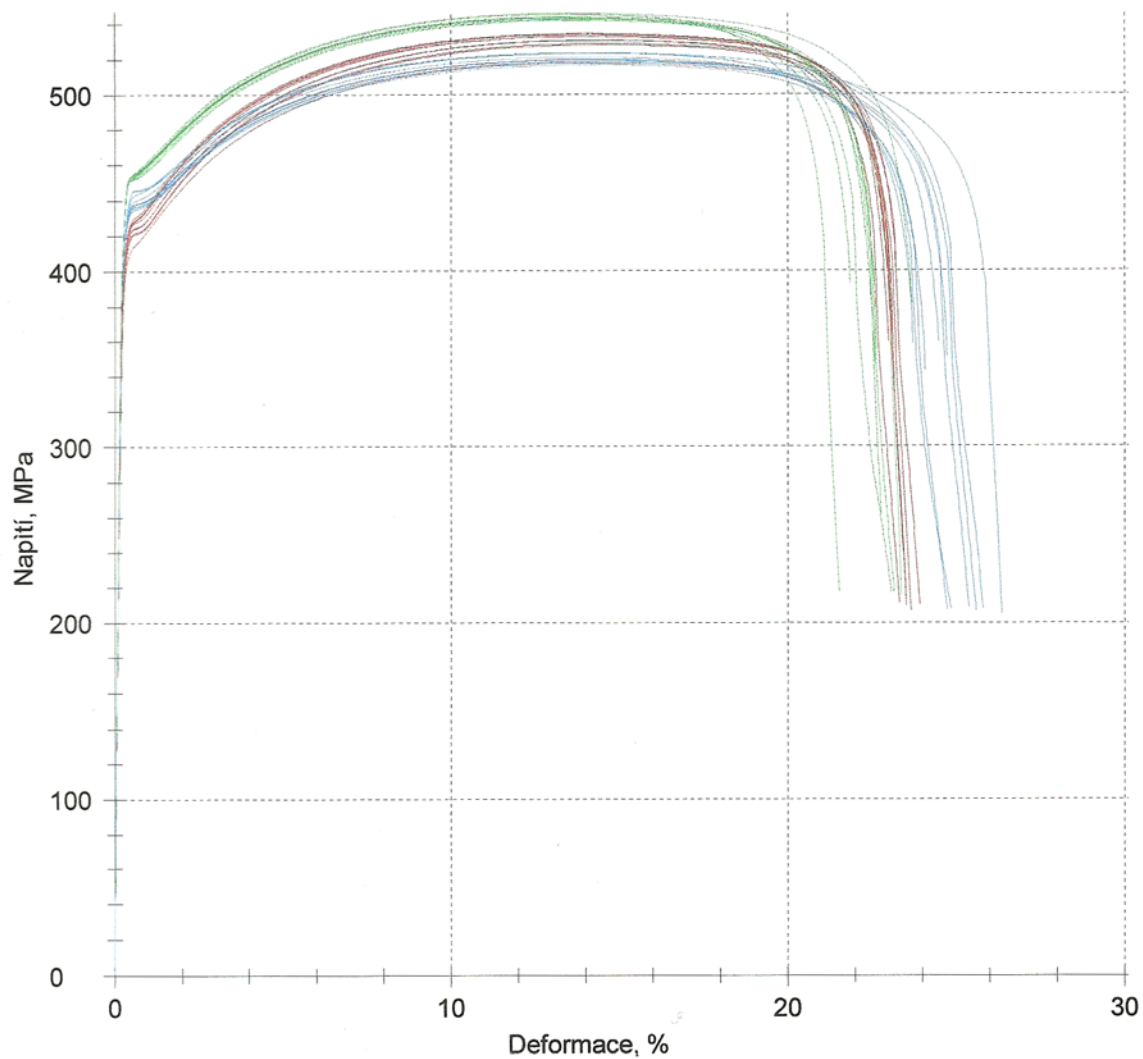
Zákazník : H. Kupilíková
 Zkoušel(a) : H. Kupilíková
 Norma : EN ISO 6892-1
 Materiál : HX420LAD + Z100MB_A80_tl. 1,5 mm
 Snímač síly : GTM/K_250KN/51038
 Průtahoměr, snímač dráhy : BTC-EXMULTI.001_010
 Upínací čelisti : ZWICK/ROELL_B 8803.00.00
 Zkušební systém :

Výsledky:

Legenda	Nr	a0 mm	b0 mm	S0 mm ²	L0 mm	Rp 0,2 MPa	Rm MPa	Ag %	A _{50 mm} %	A _{80 mm} %
	1	1,5	19,6	29,40	80,00	420,08	534,38	13,85	28,20	22,82
	2	1,5	19,6	29,40	80,00	418,88	533,05	13,85	28,38	22,93
	3	1,5	19,6	29,40	80,00	419,83	532,74	13,77	28,60	23,04
	4	1,5	19,6	29,40	80,00	420,72	533,86	13,80	29,18	23,41
	5	1,5	19,6	29,40	80,00	422,36	534,42	13,77	29,19	23,41
	6	1,5	19,6	29,40	80,00	413,39	528,66	14,15	29,62	23,82
	7	1,5	19,6	29,40	80,00	416,12	530,62	14,06	28,12	22,85
	8	1,5	19,6	29,40	80,00	413,18	527,94	14,05	28,25	22,92
	9	1,5	19,6	29,40	80,00	416,98	530,49	13,91	28,77	23,20
	10	1,5	19,6	29,40	80,00	406,89	517,67	13,62	29,51	23,55
	11	1,5	19,6	29,40	80,00	450,86	545,94	13,23	29,68	23,51
	12	1,5	19,6	29,40	80,00	451,34	545,37	13,12	26,43	21,44
	13	1,5	19,6	29,40	80,00	448,98	544,04	13,35	27,94	22,47
	14	1,5	19,6	29,40	80,00	449,73	543,26	13,16	29,00	23,06
	15	1,5	19,6	29,40	80,00	449,88	542,44	13,24	27,96	22,44
	16	1,5	19,6	29,40	80,00	451,29	542,95	13,30	26,70	21,67
	17	1,5	19,6	29,40	80,00	450,66	543,49	13,04	28,08	22,44
	18	1,5	19,6	29,40	80,00	449,38	543,45	13,26	28,27	22,64
	19	1,5	19,6	29,40	80,00	449,42	542,95	13,18	28,85	22,97
	20	1,5	19,6	29,40	80,00	450,43	541,86	13,19	29,34	23,28
	21	1,5	19,6	29,40	80,00	435,90	523,52	13,38	29,64	23,54
	22	1,5	19,6	29,40	80,00	433,54	520,98	13,58	31,25	24,62
	23	1,5	19,6	29,40	80,00	431,41	519,19	13,73	32,53	25,48
	24	1,5	19,6	29,40	80,00	429,17	516,63	13,87	29,91	23,90
	25	1,5	19,6	29,40	80,00	431,21	519,54	14,00	30,46	24,29
	26	1,5	19,6	29,40	80,00	431,76	519,72	13,92	31,24	24,75
	27	1,5	19,6	29,40	80,00	438,09	523,18	13,60	32,95	25,69
	28	1,5	19,6	29,40	80,00	438,03	523,54	13,68	32,22	25,27
	29	1,5	19,6	29,40	80,00	430,05	518,34	14,30	33,43	26,26
	30	1,5	19,6	29,40	80,00	430,19	518,38	13,96	30,91	24,55

Vzorek č.: 1-10_0°
 11-20_90°
 21-30_45°

Grafické záznamy zkoušek:



Statistika:

Série n = 30	S0 mm ²	L0 mm	Rp 0,2 MPa	Rm MPa	Ag %	A _{50 mm} %	A _{80 mm} %
\bar{x}	29,40	80,00	433,32	531,42	13,63	29,49	23,54
s	0,00	0,00	14,22	10,20	0,35	1,74	1,15
v	0,00	0,00	3,28	1,92	2,60	5,89	4,88

Zk. parametry:

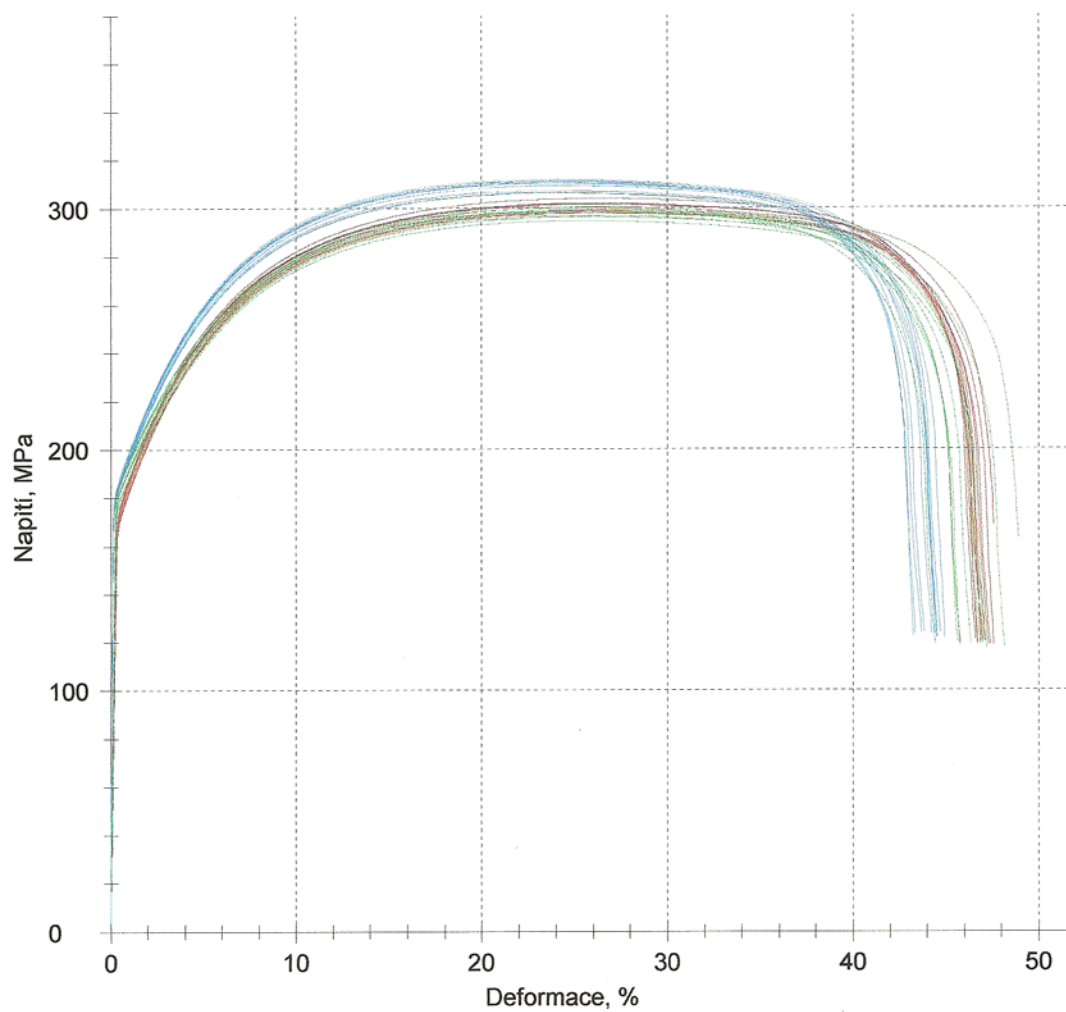
Zákazník : H. Kupilíková
 Zkoušel(a) : H. Kupilíková
 Norma : EN ISO 6892-1
 Materiál : DX54D + Z100MB_A50_tl. 1,2 mm
 Snímač síly : GTM/K_250KN/51038
 Průtahoměr, snímač dráhy: BTC-EXMULTI.001_010
 Upínací čelisti : ZWICK/ROELL_B 8803.00.00
 Zkušební systém : Řízení v.č.: 173358
 Příčník v.č.: 173358
 Síla v.č.: 173359 250 kN
 MultiXtens v.č.: 173363

Výsledky:

Legenda	Nr	a0 mm	b0 mm	S0 mm ²	L0 mm	Rp 0,2 MPa	Rm MPa	Ag %	A50 mm %	A80 mm %
	1	1,2	12,25	14,70	50,00	173,98	300,31	25,59	46,29	38,53
	2	1,2	12,25	14,70	50,00	170,59	297,98	25,68	47,35	39,22
	3	1,2	12,25	14,70	50,00	171,47	299,38	25,71	47,06	39,05
	4	1,2	12,25	14,70	50,00	170,83	298,17	25,09	47,13	38,87
	5	1,2	12,25	14,70	50,00	174,29	301,79	25,90	46,65	38,87
	6	1,2	12,25	14,70	50,00	175,21	302,02	25,18	46,48	38,49
	7	1,2	12,25	14,70	50,00	175,53	303,98	26,34	46,38	38,86
	8	1,2	12,25	14,70	50,00	175,05	301,97	24,67	45,79	37,87
	9	1,2	12,25	14,70	50,00	170,56	298,52	25,05	45,48	37,82
	10	1,2	12,25	14,70	50,00	174,35	301,65	24,71	45,95	37,99
	11	1,2	12,25	14,70	50,00	178,70	298,89	24,45	46,09	37,97
	12	1,2	12,25	14,70	50,00	178,84	296,94	25,11	45,54	37,88
	13	1,2	12,25	14,70	50,00	185,27	300,75	24,83	45,44	37,71
	14	1,2	12,25	14,70	50,00	185,41	300,08	24,29	47,81	38,99
	15	1,2	12,25	14,70	50,00	184,37	298,78	24,46	44,25	36,83
	16	1,2	12,25	14,70	50,00	178,64	296,45	24,59	47,02	38,61
	17	1,2	12,25	14,70	50,00	181,89	298,59	24,40	45,20	37,40
	18	1,2	12,25	14,70	50,00	184,28	299,07	25,41	46,65	38,69
	19	1,2	12,25	14,70	50,00	178,10	294,78	25,10	46,99	38,78
	20	1,2	12,25	14,70	50,00	182,03	298,93	24,49	45,54	37,65
	21	1,2	12,25	14,70	50,00	182,85	311,56	23,47	43,00	35,68
	22	1,2	12,25	14,70	50,00	182,33	310,74	23,60	42,72	35,55
	23	1,2	12,25	14,70	50,00	180,31	306,54	24,02	44,10	36,57
	24	1,2	12,25	14,70	50,00	180,35	306,37	23,93	43,68	36,27
	25	1,2	12,25	14,70	50,00	180,60	307,30	23,48	43,69	36,11
	26	1,2	12,25	14,70	50,00	181,51	309,37	23,95	42,87	35,77
	27	1,2	12,25	14,70	50,00	181,98	310,34	23,48	43,50	35,99
	28	1,2	12,25	14,70	50,00	182,09	310,82	24,09	43,55	36,26
	29	1,2	12,25	14,70	50,00	183,72	312,18	23,81	43,81	36,31
	30	1,2	12,25	14,70	50,00	183,44	311,29	23,41	42,38	35,27

Vzorek č.: 1-10_0°
11-20_90°
21-30_45°

Grafické záznamy zkoušek:



Statistika:

Série n = 30	S0 mm ²	L0 mm	E GPa	Rp 0,2 MPa	Rm MPa	Ag %	A _{50 mm} %	A _{80 mm} %
\bar{x}	14,70	50,00	90,4	178,95	302,85	24,61	45,28	37,53
s	0,00	0,00	45,2	4,66	5,34	0,80	1,60	1,25
v	0,00	0,00	49,93	2,61	1,76	3,25	3,53	3,34

Zwick / Roell Standardní protokol

Zk. parametry:

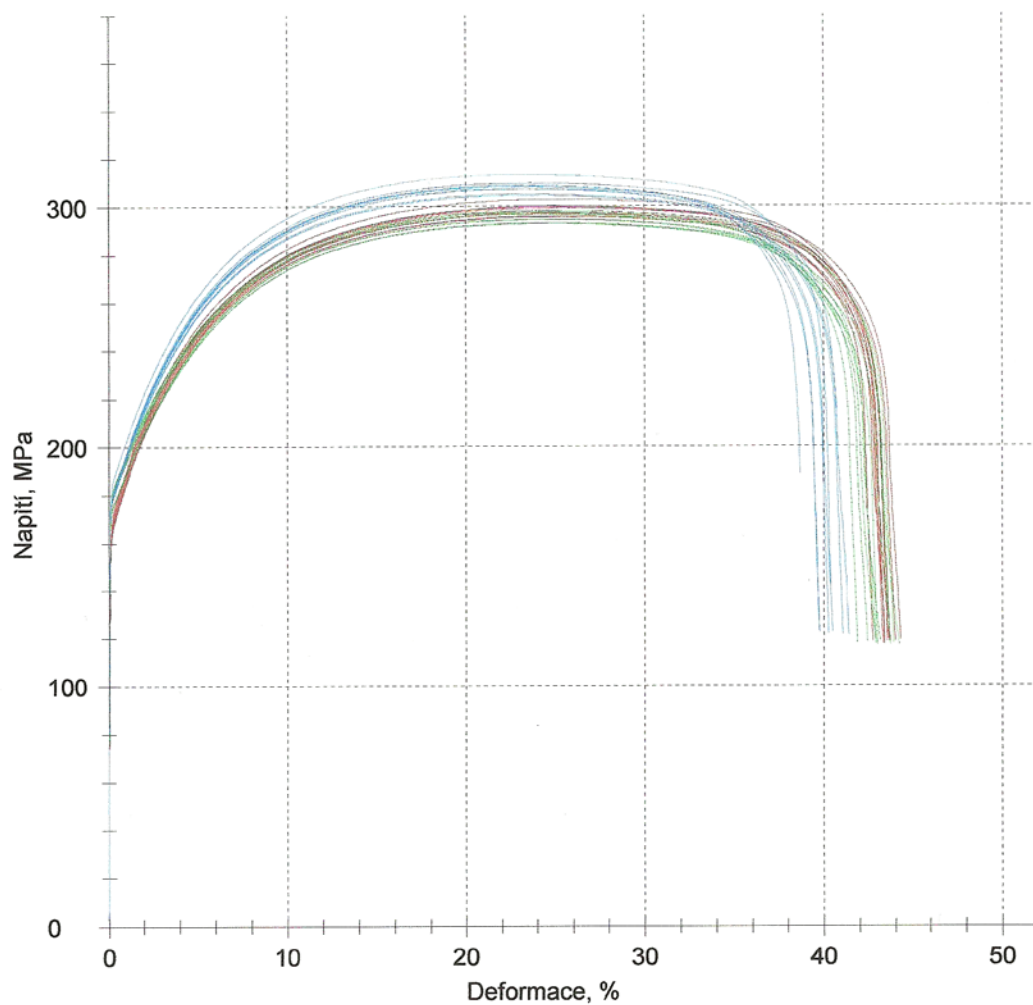
Zákazník : H. Kupilíková
 Zkoušel(a) : H. Kupilíková
 Norma : EN ISO 6892-1
 Materiál : DX54D + Z100MB_A80_tl. 1,2 mm
 Snímač síly : GTM/K_250KN/51038
 Průtahoměr, snímač dráhy: BTC-EXMULTI.001_010
 Upínací čelisti : ZWICK/ROELL_B 8803.00.00
 Zkušební systém : Řízení v.č.: 173358
 Příčník v.č.: 173358
 Síla v.č.: 173359 250 kN
 MultiXtens v.č.: 173363

Výsledky:

Legenda	Nr	a0 mm	b0 mm	S0 mm ²	L0 mm	Rp 0,2 MPa	Rm MPa	Ag %	A50 mm %	A80 mm %
	1	1,2	19,5	23,40	80,00	166,35	297,11	24,95	53,31	42,68
	2	1,2	19,5	23,40	80,00	167,88	297,56	25,17	54,47	43,48
	3	1,2	19,5	23,40	80,00	167,05	295,84	25,26	54,13	43,30
	4	1,2	19,5	23,40	80,00	167,13	296,03	24,57	54,43	43,23
	5	1,2	19,5	23,40	80,00	172,21	302,91	25,32	54,13	43,32
	6	1,2	19,5	23,40	80,00	171,36	299,96	25,17	54,24	43,34
	7	1,2	19,5	23,40	80,00	170,84	299,96	24,95	54,69	43,54
	8	1,2	19,5	23,40	80,00	170,92	300,26	24,82	55,85	44,21
	9	1,2	19,5	23,40	80,00	168,90	298,17	24,84	55,35	43,91
	10	1,2	19,5	23,40	80,00	169,36	299,40	25,32	54,55	43,59
	11	1,2	19,5	23,40	80,00	180,66	297,00	24,05	54,52	43,10
	12	1,2	19,5	23,40	80,00	179,95	296,84	24,16	55,65	43,84
	13	1,2	19,5	23,40	80,00	174,96	292,90	24,52	53,97	42,92
	14	1,2	19,5	23,40	80,00	175,43	293,00	24,53	55,14	43,66
	15	1,2	19,5	23,40	80,00	181,75	296,74	24,00	53,40	42,38
	16	1,2	19,5	23,40	80,00	175,83	294,81	24,40	53,92	42,85
	17	1,2	19,5	23,40	80,00	175,69	294,52	24,76	53,72	42,86
	18	1,2	19,5	23,40	80,00	182,28	297,66	24,08	52,45	41,81
	19	1,2	19,5	23,40	80,00	182,86	298,23	24,74	54,95	43,62
	20	1,2	19,5	23,40	80,00	175,39	293,26	24,31	56,06	44,15
	21	1,2	19,5	23,40	80,00	186,59	313,23	23,13	50,63	40,31
	†22	1,2	19,5	23,40	80,00	182,11	310,29	23,47	-	-
	23	1,2	19,5	23,40	80,00	180,81	308,82	23,52	47,64	38,59
	24	1,2	19,5	23,40	80,00	179,20	304,55	23,11	51,70	40,98
	25	1,2	19,5	23,40	80,00	181,53	309,80	23,34	51,13	40,71
	26	1,2	19,5	23,40	80,00	179,48	305,12	23,13	52,26	41,34
	27	1,2	19,5	23,40	80,00	180,78	308,06	23,33	50,67	40,42
	28	1,2	19,5	23,40	80,00	180,41	307,36	23,47	50,23	40,20
	29	1,2	19,5	23,40	80,00	180,69	308,63	23,32	49,48	39,67
	30	1,2	19,5	23,40	80,00	180,14	307,16	23,15	49,64	39,70

Vzorek č.: 1-10_0°
11-20_90°
21-30_45°

Grafické záznamy zkoušek:



Statistika:

Série n = 29	S0 mm ²	L0 mm	Rp 0,2 MPa	Rm MPa	Ag %	A _{50 mm} %	A _{80 mm} %
\bar{x}	23,40	80,00	176,08	300,51	24,25	53,18	42,33
s	0,00	0,00	5,76	5,77	0,76	2,18	1,59
v	0,00	0,00	3,27	1,92	3,15	4,10	3,75

Zk. parametry:

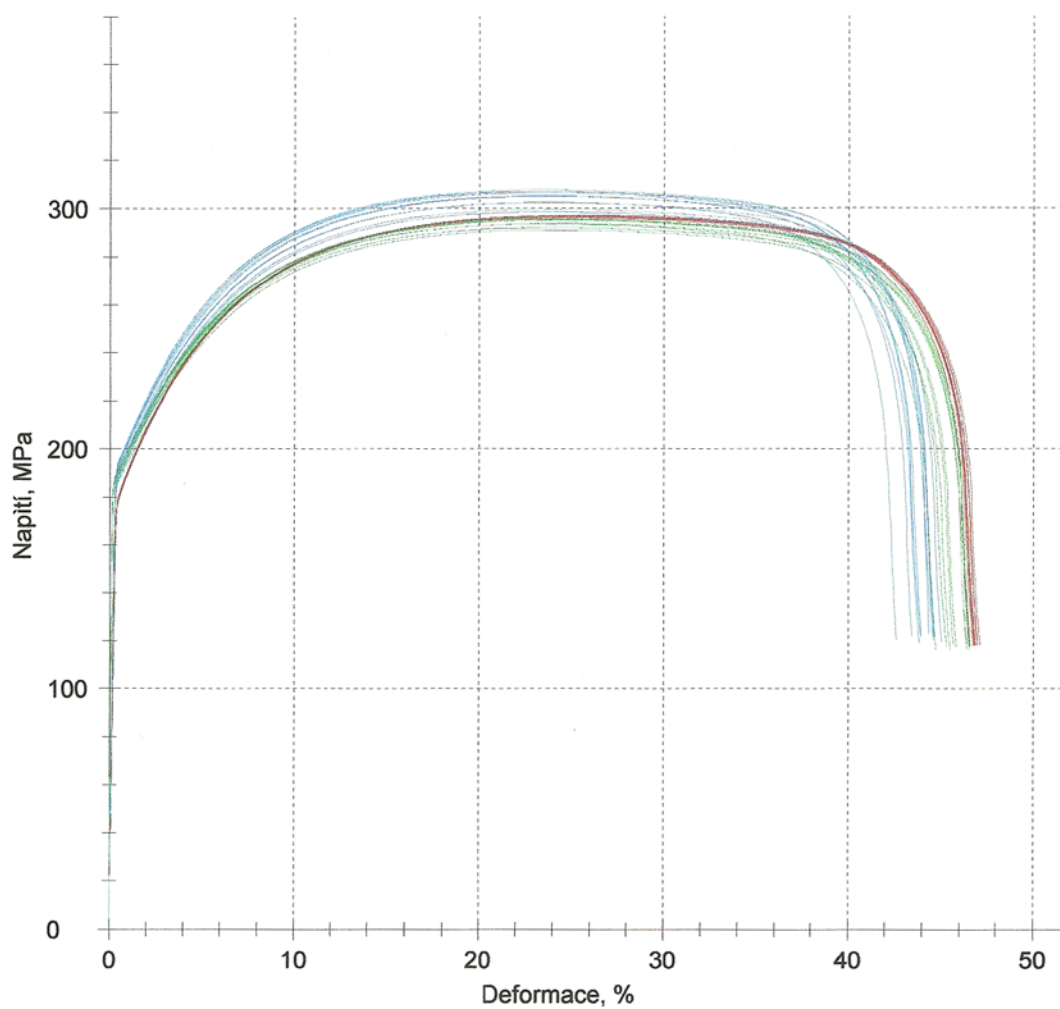
Zákazník : H. Kupíliková
 Zkoušel(a) : H. Kupíliková
 Norma : EN ISO 6892-1
 Materiál : DX54D + Z100MB_A50_tl. 1,5 mm
 Snímač síly : GTM/K_250KN/51038
 Průtahoměr, snímač dráhy: BTC-EXMULTI.001_010
 Upínací čelisti : ZWICK/ROELL_B 8803.00.00
 Zkušební systém : Řízení v.č.: 173358
 Příčnick v.č.: 173358
 Síla v.č.: 173359 250 kN
 MultiXtens v.č.: 173363

Výsledky:

Legenda	Nr	a0 mm	b0 mm	S0 mm ²	L0 mm	Rp 0,2 MPa	Rm MPa	Ag %	A _{50 mm} %	A _{80 mm} %
	1	1,5	12,2	18,30	50,00	180,19	296,81	24,36	45,91	37,83
	2	1,5	12,2	18,30	50,00	179,93	297,05	24,23	45,69	37,64
	3	1,5	12,2	18,30	50,00	180,64	296,18	24,32	45,81	37,75
	4	1,5	12,2	18,30	50,00	179,89	297,19	24,44	45,66	37,70
	5	1,5	12,2	18,30	50,00	179,81	296,77	24,97	46,65	38,52
	6	1,5	12,2	18,30	50,00	179,34	296,53	24,77	46,55	38,38
	7	1,5	12,2	18,30	50,00	179,49	296,57	24,52	45,80	37,82
	8	1,5	12,2	18,30	50,00	180,23	296,42	24,14	45,63	37,57
	9	1,5	12,2	18,30	50,00	179,58	296,72	24,14	45,42	37,44
	10	1,5	12,2	18,30	50,00	179,70	296,61	24,35	45,76	37,73
	11	1,5	12,2	18,30	50,00	186,28	291,01	23,60	44,49	36,66
	12	1,5	12,2	18,30	50,00	189,50	295,50	23,64	44,72	36,82
	13	1,5	12,2	18,30	50,00	190,32	295,88	23,58	45,37	37,20
	14	1,5	12,2	18,30	50,00	189,45	295,17	23,67	45,79	37,49
	15	1,5	12,2	18,30	50,00	187,62	295,54	23,68	44,51	36,70
	16	1,5	12,2	18,30	50,00	189,29	295,36	23,58	45,55	37,31
	17	1,5	12,2	18,30	50,00	188,97	295,24	24,44	45,64	37,69
	18	1,5	12,2	18,30	50,00	188,42	293,81	23,28	45,19	36,97
	19	1,5	12,2	18,30	50,00	186,37	292,08	23,57	45,62	37,35
	20	1,5	12,2	18,30	50,00	188,02	293,62	23,91	43,94	36,43
	21	1,5	12,2	18,30	50,00	187,88	299,68	23,22	43,90	36,15
	22	1,5	12,2	18,30	50,00	191,38	305,01	23,10	43,53	35,87
	23	1,5	12,2	18,30	50,00	189,99	302,44	23,10	42,41	35,17
	24	1,5	12,2	18,30	50,00	189,58	302,35	23,08	43,55	35,87
	25	1,5	12,2	18,30	50,00	187,41	298,65	23,02	42,82	35,39
	26	1,5	12,2	18,30	50,00	194,54	307,79	22,97	43,30	35,68
	27	1,5	12,2	18,30	50,00	193,28	305,22	22,77	42,40	35,04
	28	1,5	12,2	18,30	50,00	193,65	306,40	23,32	42,89	35,55
	29	1,5	12,2	18,30	50,00	195,00	307,08	23,03	42,77	35,36
	30	1,5	12,2	18,30	50,00	192,83	306,99	23,08	43,65	35,94

Vzorek č.: 1-10_0°
11-20_90°
21-30_45°

Grafické záznamy zkoušek:



Statistika:

Série n = 30	S0 mm ²	L0 mm	Rp 0,2 MPa	Rm MPa	Ag %	A _{50 mm} %	A _{80 mm} %
x	18,30	50,00	186,62	298,39	23,73	44,70	36,83
s	0,00	0,00	5,30	4,72	0,61	1,29	1,01
v	0,00	0,00	2,84	1,58	2,58	2,88	2,74

Zwick / Roell Standardní protokol

Zk. parametry:

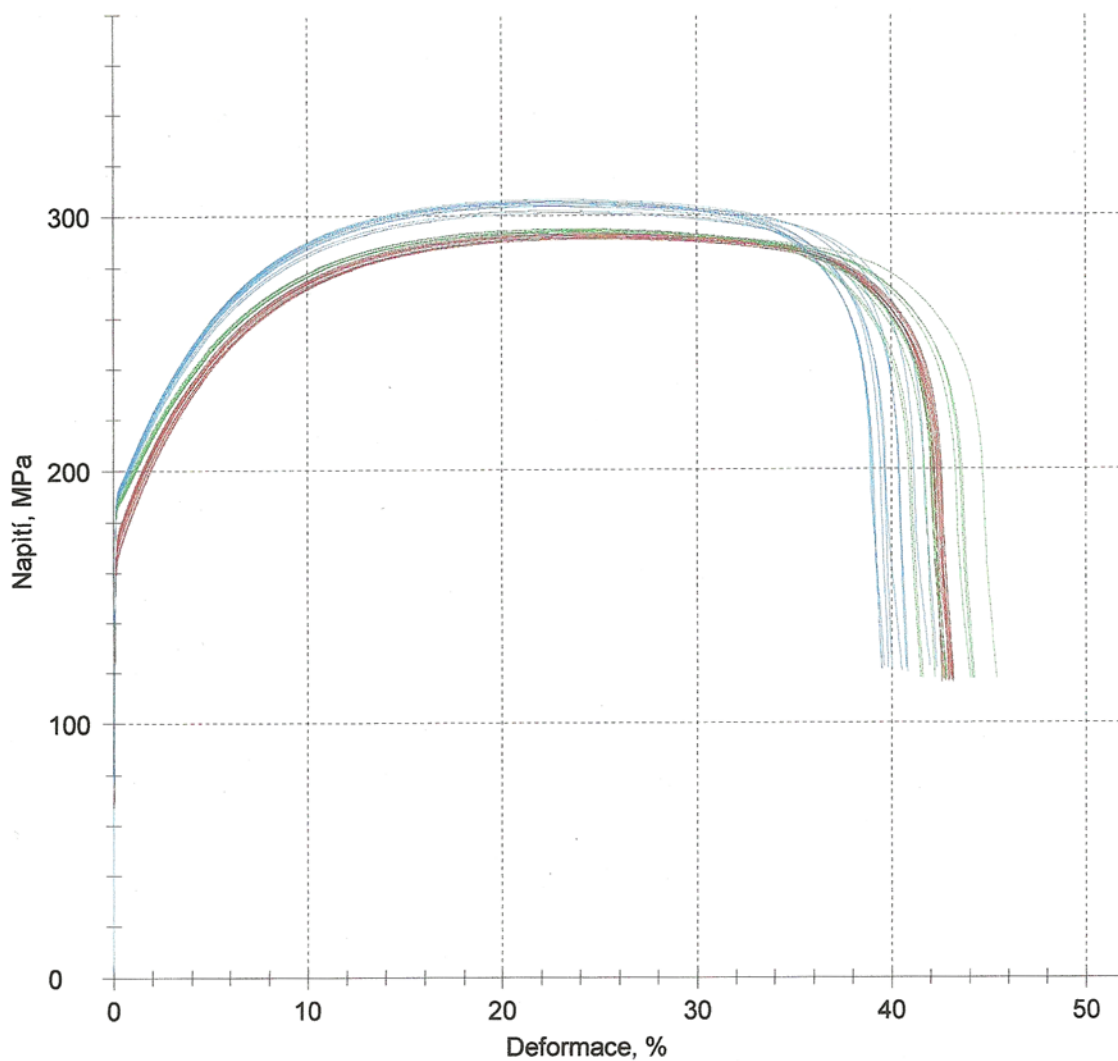
Zákazník : H. Kupilíková
 Zkoušel(a) : H. Kupilíková
 Norma : EN ISO 6892-1
 Materiál : DX54D+Z100MB_A80_tl. 1,5 mm
 Snímač síly : GTM/K_250KN/51038
 Průtahoměr, snímač dráhy : BTC-EXMULTI.001_010
 Upínací čelisti : ZWICK/ROELL_B 8803.00.00
 Zkušební systém :

Výsledky:

Legenda	Nr	a0 mm	b0 mm	S0 mm ²	L0 mm	Rp 0,2 MPa	Rm MPa	Ag %	A _{50 mm} %	A _{80 mm} %
	1	1,5	19,6	29,40	80,00	168,08	291,69	24,35	53,42	42,52
	2	1,5	19,6	29,40	80,00	173,24	293,00	24,79	54,11	43,11
	3	1,5	19,6	29,40	80,00	174,14	291,28	24,33	53,74	42,71
	4	1,5	19,6	29,40	80,00	171,98	290,85	24,62	54,17	43,09
	5	1,5	19,6	29,40	80,00	174,12	292,12	24,23	54,03	42,85
	6	1,5	19,6	29,40	80,00	174,97	292,57	24,19	54,15	42,91
	7	1,5	19,6	29,40	80,00	175,40	293,63	23,91	54,46	43,00
	8	1,5	19,6	29,40	80,00	170,82	291,60	24,55	54,12	43,03
	9	1,5	19,6	29,40	80,00	167,14	291,47	24,54	54,19	43,07
	10	1,5	19,6	29,40	80,00	176,18	292,93	24,35	53,60	42,63
	11	1,5	19,6	29,40	80,00	187,05	293,97	23,39	54,35	42,74
	12	1,5	19,6	29,40	80,00	186,60	293,73	23,60	56,54	44,19
	13	1,5	19,6	29,40	80,00	190,08	294,62	23,15	52,57	41,54
	14	1,5	19,6	29,40	80,00	188,58	294,70	22,84	54,73	42,77
	15	1,5	19,6	29,40	80,00	188,90	294,79	23,26	53,48	42,15
	16	1,5	19,6	29,40	80,00	189,85	294,81	23,56	52,16	41,43
	17	1,5	19,6	29,40	80,00	187,87	294,08	23,62	56,17	43,97
	18	1,5	19,6	29,40	80,00	187,50	294,11	23,64	58,40	45,37
	19	1,5	19,6	29,40	80,00	186,51	293,94	23,58	53,97	42,58
	20	1,5	19,6	29,40	80,00	186,57	293,94	23,56	56,43	44,10
	21	1,5	19,6	29,40	80,00	193,39	305,30	22,83	49,57	39,54
	22	1,5	19,6	29,40	80,00	190,48	301,86	22,78	51,06	40,46
	23	1,5	19,6	29,40	80,00	190,97	303,60	22,14	49,77	39,41
	24	1,5	19,6	29,40	80,00	191,32	305,15	22,38	53,61	41,90
	25	1,5	19,6	29,40	80,00	192,80	305,64	22,43	50,17	39,76
	26	1,5	19,6	29,40	80,00	192,83	306,38	22,22	51,77	40,69
	27	1,5	19,6	29,40	80,00	189,73	300,94	22,71	51,57	40,75
	28	1,5	19,6	29,40	80,00	192,33	304,69	22,61	49,51	39,42
	29	1,5	19,6	29,40	80,00	192,44	304,70	22,27	50,55	39,95
	30	1,5	19,6	29,40	80,00	191,77	304,05	23,17	53,67	42,23

Vzorek č.: 1-10_0°
 11-20_90°
 21-30_45°

Grafické záznamy zkoušek:



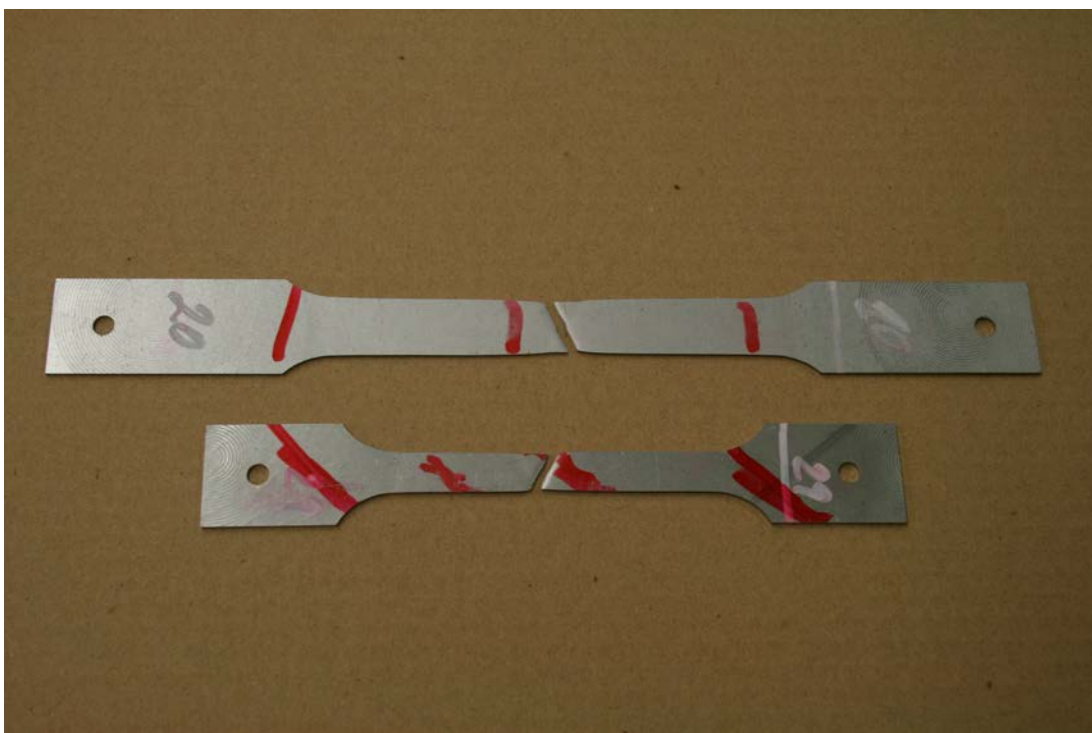
Statistika:

Série n = 30	S0 mm ²	L0 mm	Rp 0,2 MPa	Rm MPa	Ag %	A50 mm %	A80 mm %
\bar{x}	29,40	80,00	184,12	296,87	23,45	53,34	42,13
s	0,00	0,00	8,66	5,48	0,81	2,15	1,54
v	0,00	0,00	4,71	1,85	3,44	4,04	3,65

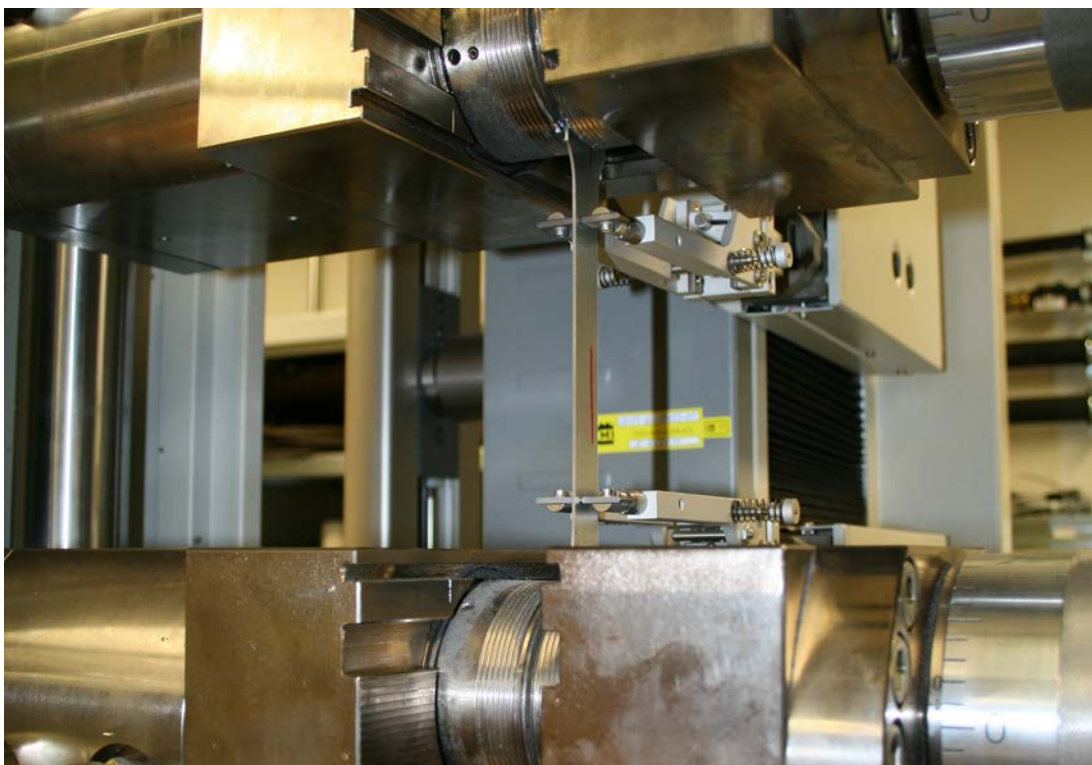
Příloha č. 4: Fotodokumentace



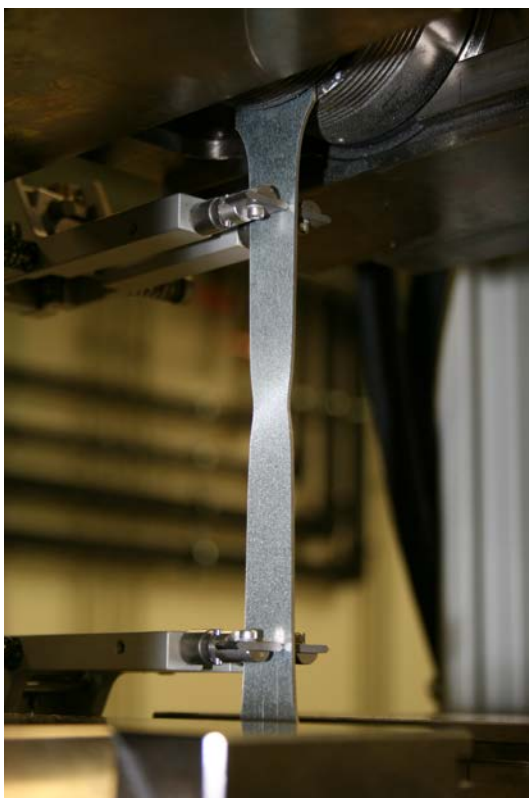
Sada 30 vzorků HX420LAD + Z100MB, A 50 mm, tl. 1,2mm.



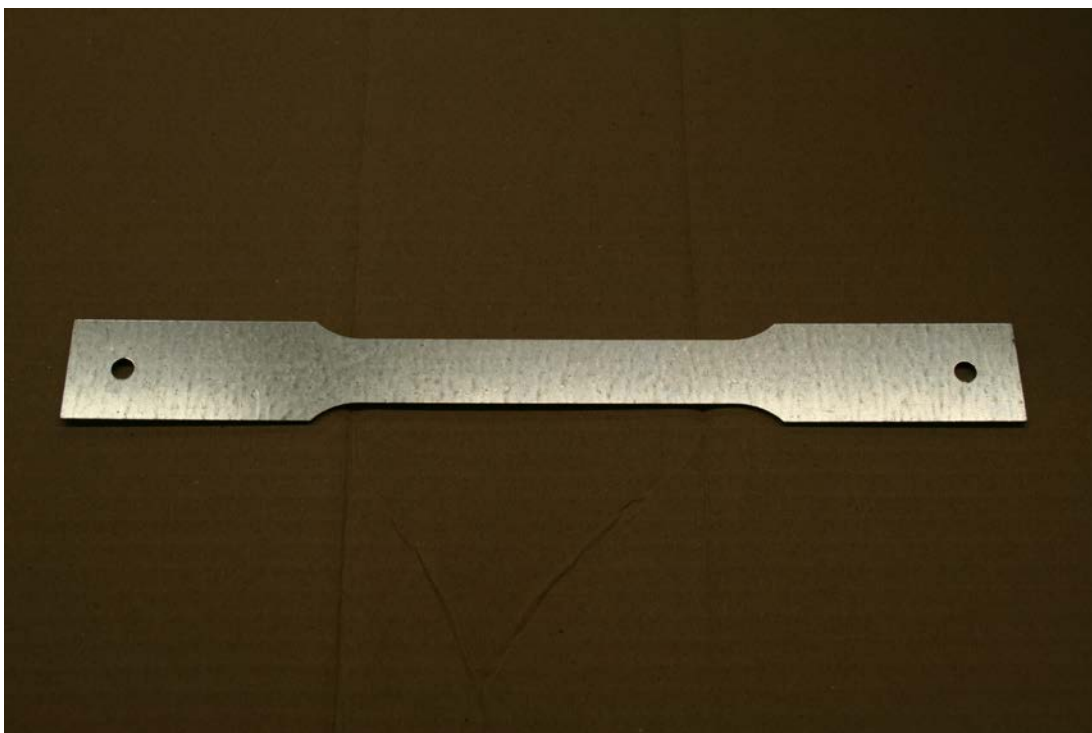
Přetržené vzorky A 50 mm, A 80 mm, tl. 1,2 mm.



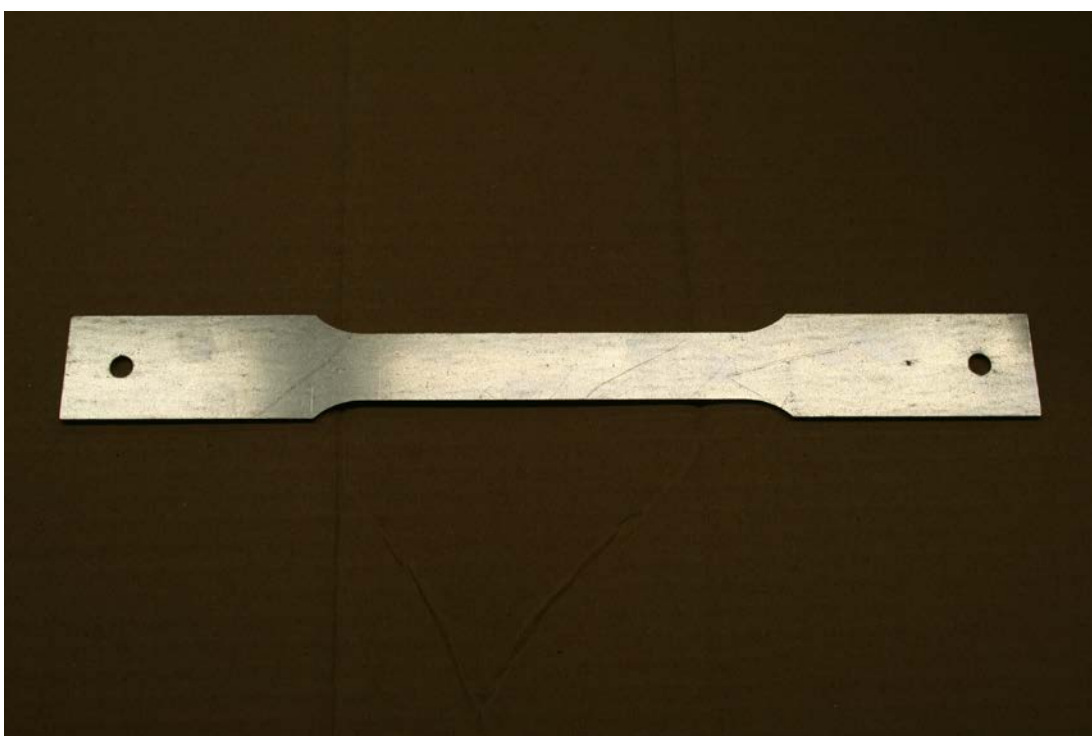
Vzorek DX54D + Z100MB během zkoušky tahem.



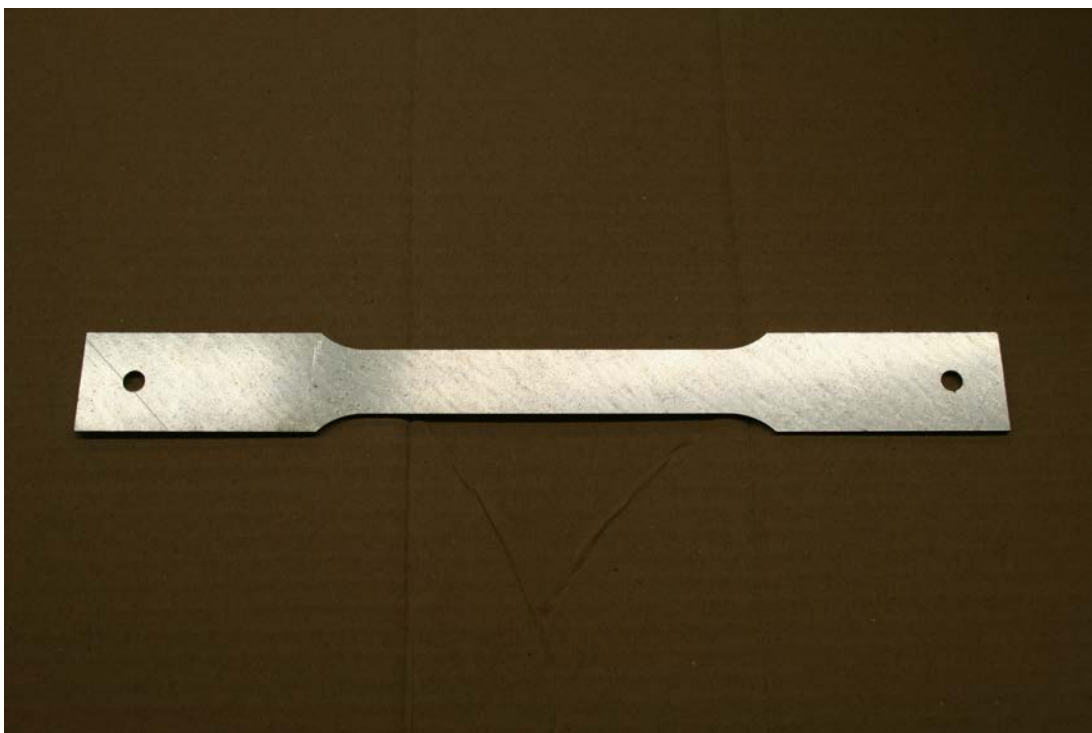
Tvorba krčku na vzorku DX54D + Z100MB a jeho porušení.



Viditelná struktura materiálu DOGAL1000DPX po válcování, 0°.



Viditelná struktura materiálu DOGAL1000DPX po válcování, 90°.



Viditelná struktura materiálu DOGAL1000DPX po válcování, 45°.

Prohlášení

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 - školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum

27. 5. 2011

Podpis

Declaration

I have been notified of the fact that Copyright Act No. 121/2000 Coll. applies to my thesis in full, in particular Section 60, School Work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL.

If I use my thesis or grant a licence for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact; in this case TUL has the right to seek that I pay the expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis and a consultant.

Date

27. 5. 2011

Signature